

N° d'ordre : 056



**Mémoire de Projet de Fin d'Etudes en vue de l'obtention du Diplôme de  
Docteur Vétérinaire  
et de l'Attestation  
« Projet d'Entreprise Economique »**

**Intitulé**

---

**Valorisation du lactosérum : enjeu économique et sécurité  
alimentaire. Etude de faisabilité pour l'entreprise industrielle  
FutureWhey.**

---

**Présenté par :** MESSADI Mohamed Louai

**Soutenu le 08 juillet 2025** devant le jury composé de :

**Président :**

- LAMARA Ali (Professeur – ENSV)

**Rapporteur :**

- BOUAYAD (Professeur – ENSV)

**Examineurs :**

- ZAOUANI Mohamed (Professeur – ENSV)

**Représentant socio-économique :**

- SAHRAOUI Roumaïssa (ANVREDET)
- KEBYECH Khaled (Chef d'entreprise - ALOEVERSE COSMETICS)

**Responsable du CDE :**

- Pr NABTI Karima

**Membre de l'Incubateur de l'ENSV :**

- Dr AOUDANE Nedjma
- Dr CHIRANE Manel

## **Remerciements**

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.

À Madame la Professeure Bouayad, mon encadrante, pour sa disponibilité, sa rigueur, sa confiance et ses conseils tout au long de ce travail. Votre accompagnement a été aussi exigeant que bienveillant, et je vous en remercie sincèrement.

À l'ensemble de l'équipe du laboratoire d'HIDAOA, pour leur accueil, leur assistance technique et leur soutien constant tout au long de l'expérimentation.

À Monsieur le Professeur Lamara et Madame le Docteur Aouane, responsables de l'incubateur de l'école, pour leur aide précieuse, leur écoute, et surtout pour avoir su créer un environnement stimulant et favorable au développement de l'esprit entrepreneurial au sein de notre établissement.

À Monsieur le Professeur Belabbas, pour son appui logistique et technique lors des étapes de lyophilisation, ainsi que pour ses conseils avisés.

À la Direction des études et au Département clinique, pour leur tolérance, leur souplesse et leur compréhension tout au long de cette année exigeante. Votre bienveillance m'a permis de mener ce projet à terme dans les meilleures conditions possibles.

## Dédicaces

Ce mémoire est dédié, avec gratitude et reconnaissance, à toutes les personnes qui ont marqué ce parcours d'une manière ou d'une autre, par leur présence, leur inspiration ou leur confiance.

À mes parents, sans lesquels je ne serais pas la personne que je suis aujourd'hui. C'est grâce à votre amour, votre patience et votre soutien indéfectible que j'ai pu aller au bout de ce chemin.

À mon frère et à ma sœur, c'est un honneur d'être votre grand frère. J'espère être, pour vous, un exemple que vous serez fiers de suivre.

À mes enseignants, et plus particulièrement à mon encadrante, pour votre accompagnement, vos conseils éclairés et votre disponibilité tout au long de ce travail.

À mes amis, qu'ils soient de l'école, de la résidence universitaire ou d'ailleurs, merci de m'avoir soutenu durant ces cinq dernières années, et d'avoir toujours cru en moi, parfois bien plus que moi-même.

Et à toutes les autres personnes, visibles ou invisibles, dont les échos, les doutes ou les encouragements ont fini par façonner ce mémoire : ce document vous appartient autant qu'à moi.

## Abstract

In Algeria, the dairy industry produces over 3.3 billion liters of raw milk annually, yet it generates an estimated 101.5 million liters of untreated Whey as a by-product of cheese-making processes. This underutilized effluent, rich in soluble proteins and bioactive compounds, represents both a valuable nutritional resource and a major source of environmental pollution due to its high chemical oxygen demand (COD). In response to this dual challenge, this study explores the feasibility of valorizing sweet Whey into Whey protein concentrate (WPC), a high-value product with applications in the food, nutraceutical, and pharmaceutical sectors.

The research follows an experimental approach combining field data, laboratory processing, and startup planning. Sweet Whey was recovered either directly from local dairies or via enzymatic coagulation of raw milk in laboratory settings. After gross filtration to remove particulates, the Whey underwent gentle thermal concentration (55 °C for 48 hours) to reduce water content while preserving protein integrity. This was followed by freeze-drying (lyophilization) to produce a stable, rehydratable protein powder. Physicochemical analyses (pH, protein, fat, density, freezing point) and microbiological quality controls were conducted to assess both raw materials and final products. The process yielded approximately 30 g of WPC per liter of Whey, with excellent solubility and preserved sensory attributes.

The results confirm the technical reproducibility and nutritional quality of the final product, with protein levels exceeding 2.5 % in the raw Whey and WPC purity reaching industrial benchmarks. Economically, the use of low-cost raw materials (Whey classified as waste) and scalable unit operations positions the project as a cost-effective alternative to imports. Environmentally, the approach significantly reduces the organic load of dairy effluents, aligning with circular economy principles and national sustainability goals.

This work demonstrates not only the technical viability of producing WPC through accessible lab-scale methods but also its broader socioeconomic potential when deployed in semi-industrial settings. With adequate regulatory frameworks and support for scale-up, Algeria could emerge as a regional leader in the production of Whey-based protein ingredients, contributing to food security, waste reduction, and economic diversification.

## Résumé

En Algérie, l'industrie laitière produit plus de 3,3 milliards de litres de lait cru par an, tout en générant environ 101,5 millions de litres de lactosérum non traité, sous-produit issu des procédés de fabrication fromagère. Cet effluent sous-exploité, riche en protéines solubles et en composés bioactifs, constitue à la fois une ressource nutritionnelle précieuse et une source majeure de pollution organique en raison de sa forte demande chimique en oxygène (DCO). Face à ce double enjeu, cette étude explore la faisabilité de la valorisation du lactosérum doux en concentré de protéines de lactosérum (WPC), un ingrédient à forte valeur ajoutée destiné aux industries agroalimentaire, nutraceutique et pharmaceutique.

Le travail repose sur une approche expérimentale intégrant des données de terrain, des procédés de laboratoire et une perspective entrepreneuriale. Le lactosérum doux a été collecté soit directement auprès de laiteries locales, soit produit en laboratoire par coagulation enzymatique du lait cru. Après une filtration grossière pour éliminer les particules solides, le lactosérum a été concentré thermiquement à basse température (55 °C pendant 48 heures) afin de réduire sa teneur en eau tout en préservant l'intégrité des protéines. Une lyophilisation (séchage par cryodessiccation) a ensuite permis d'obtenir une poudre protéique stable et facilement réhydratable. Des analyses physicochimiques (pH, protéines, matières grasses, densité, point de congélation) et des contrôles microbiologiques ont été réalisés sur les matières premières et les produits finis. Le procédé a permis d'obtenir environ 30 g de WPC par litre de lactosérum, avec une excellente solubilité et des propriétés sensorielles conservées.

Les résultats valident la reproductibilité technique du protocole ainsi que la qualité nutritionnelle du produit final, avec des teneurs protéiques dans le lactosérum brut supérieures à 2,5 % et une pureté du WPC conforme aux standards industriels. Sur le plan économique, l'utilisation de matières premières peu coûteuses (rejets laitiers) et de procédés modulables offre une alternative compétitive aux importations. Sur le plan environnemental, cette démarche permet une réduction significative de la charge polluante des effluents laitiers, s'inscrivant dans les principes de l'économie circulaire et des politiques nationales de durabilité.

Ce travail démontre non seulement la viabilité technique de la production de WPC par des moyens accessibles en laboratoire, mais aussi son potentiel socioéconomique à plus grande échelle. Avec un encadrement réglementaire adapté et un soutien à l'industrialisation, l'Algérie pourrait se positionner comme un acteur régional majeur dans la production d'ingrédients protéiques issus du lactosérum, contribuant ainsi à la sécurité alimentaire, à la réduction des déchets et à la diversification économique.

## ملخص

في الجزائر، تنتج صناعة الألبان أكثر من 3.3 مليار لتر من الحليب الخام سنوياً، إلا أنها تولد ما يقدر بنحو 101.5 مليون لتر من مصل اللبن غير المعالج كمنتج ثانوي لعمليات صناعة الجبن. يمثل هذا النفايات السائلة غير المستغلة، الغنية بالبروتينات القابلة للذوبان والمركبات النشطة بيولوجياً، مورداً غذائياً قيماً ومصدراً رئيسياً للتلوث البيئي بسبب ارتفاع الطلب الكيميائي على الأكسجين استجابة لهذا التحدي المزدوج، تستكشف هذه الدراسة جدوى تقييم مصل اللبن الحلو وتحويله إلى مركز بروتين مصل اللبن (COD). ، وهو منتج عالي القيمة له تطبيقات في قطاعات الأغذية والمغذيات الدوائية والأدوية (WPC)

تتبع الدراسة نهجاً تجريبياً يجمع بين البيانات الميدانية والمعالجة المخبرية وتخطيط بدء التشغيل. تم استخلاص مصل اللبن الحلو إما مباشرة من مصانع الألبان المحلية أو عن طريق التبخير الإنزيمي للحليب الخام في المختبرات. بعد الترشيح الإجمالي لإزالة الجسيمات، خضع مصل اللبن لتركيز حراري لطيف (55 درجة مئوية لمدة 48 ساعة) لتقليل محتوى الماء مع الحفاظ على سلامة البروتين. تبع ذلك التجفيف بالتجميد (التجفيف بالتجميد) لإنتاج مسحوق بروتين مستقر وقابل لإعادة الترطيب. أجريت تحليلات فيزيائية كيميائية (الرقم الهيدروجيني، البروتين، الدهون، الكثافة، نقطة التجمد) ومراقبة الجودة الميكروبيولوجية لتقييم كل من المواد الخام والمنتجات النهائية. أسفرت العملية عن حوالي 30 غراماً من مسحوق البروتين الصافي لكل لتر من مصل اللبن، مع قابلية ممتازة للذوبان والحفاظ على الخصائص الحسية

تؤكد النتائج قابلية التكرار التقنية والجودة الغذائية للمنتج النهائي، مع مستويات بروتين تتجاوز 2.5٪ في مصل اللبن الخام ونقاء مسحوق البروتين الصافي الذي يصل إلى المعايير الصناعية. من الناحية الاقتصادية، فإن استخدام المواد الخام منخفضة التكلفة (مصل اللبن المصنف كنفايات) وعمليات الوحدات القابلة للتطوير يجعل المشروع بديلاً فعالاً من حيث التكلفة للواردات. من الناحية البيئية، يقلل هذا النهج بشكل كبير من الحمل العضوي لمخلفات الألبان، بما يتماشى مع مبادئ الاقتصاد الدائري وأهداف الاستدامة الوطنية

من خلال طرق مختبرية متاحة، ولكن أيضاً إمكاناته (WPC) يُظهر هذا العمل ليس فقط الجدوى التقنية لإنتاج بروتين مصل اللبن الاجتماعية والاقتصادية الأوسع نطاقاً عند استخدامه في بيئات شبه صناعية. مع وجود أطر تنظيمية مناسبة ودعم للتوسع، يمكن أن تبرز الجزائر كرائدة إقليمية في إنتاج مكونات البروتين المستخلصة من مصل اللبن، مما يساهم في الأمن الغذائي وتقليل النفايات وتنويع الاقتصاد

## Table des Matières

<b>Introduction</b>	<b>1</b>
<b>Partie bibliographique</b>	<b>1</b>
<b>CHAPITRE I. Lactosérum</b>	<b>2</b>
<b>I.1. Définition:</b>	<b>2</b>
<b>I.2. Sources industrielles du lactosérum :</b>	<b>2</b>
<b>I.3. Types de lactosérum</b>	<b>2</b>
<b>I.4. Composition du lactosérum</b>	<b>3</b>
<b>CHAPITRE II. Whey Protéine</b>	<b>6</b>
<b>II.1. Généralités :</b>	<b>6</b>
<b>II.2. Typologie des Whey protéines : WPC, WPI, WPH, Native</b>	<b>6</b>
<b>II.3. Procédés d'Extraction et de Purification</b>	<b>10</b>
<b>Partie expérimentale</b>	<b>2</b>
<b>Objectifs</b>	<b>12</b>
<b>Chapitre III. Matériel et Méthodes</b>	<b>13</b>
<b>III.1. Matériel</b>	<b>13</b>
<b>III. 2. Méthodes</b>	<b>15</b>
<b>Chapitre IV. Résultats et Discussion</b>	<b>21</b>
<b>IV.1. Résultats de l'étude physicochimique</b>	<b>21</b>
<b>IV. 2. Résultats de l'étude microbiologique</b>	<b>24</b>
<b>IV.3. Rendements de la fabrication de lactosérum</b>	<b>25</b>
<b>Références :</b>	<b>29</b>
<b>Chapitre V. Analyse Stratégique du Marché</b>	<b>30</b>
<b>V.1. Marché potentiel et marché cible</b>	<b>30</b>
<b>V.2. Mesure de l'intensité concurrentielle</b>	<b>32</b>
<b>V.3. Stratégie marketing</b>	<b>34</b>
<b>Chapitre VI. Processus de Production</b>	<b>37</b>
<b>VI.1. Processus de Production</b>	<b>37</b>
<b>VI.2. Approvisionnement</b>	<b>37</b>
<b>VI.3. Main-d'œuvre</b>	<b>39</b>
<b>VI.4. Principaux partenaires</b>	<b>41</b>
<b>Chapitre VII. Coûts et Charges du Projet <i>FutureWhey</i></b>	<b>44</b>
<b>VII.1. Coûts d'investissement initial</b>	<b>44</b>
<b>VII.2. Charges d'exploitation annuelles</b>	<b>44</b>
<b>VII.3. Modes et sources de financement</b>	<b>46</b>
<b>VII.4. Chiffre d'affaires prévisionnel : scénarios optimiste et pessimiste</b>	<b>46</b>
<b>VII.5. Comptes de résultats escomptés</b>	<b>49</b>
<b>Chapitre VIII. Business Model Canvas</b>	<b>52</b>
<b>VIII.2. Fiche technique :</b>	<b>53</b>

## Tables des Illustrations

Figure 1 Analyse physicochimique du lait cru au Lactoscan .....	15
Figure 2 Culture sur gélose Baird Parker des staphylocoques .....	17
Figure 3 Coagulation enzymatique du lait en laboratoire .....	17
Figure 4 Filtration grossière du lactosérum doux à l'aide de papier 20 µm .....	18
Figure 5 Évaporation douce du lactosérum dans étuve à 55 °C .....	18
Figure 6 : Chargement des échantillons dans le lyophilisateur .....	19
Figure 7 Comparaison des teneurs en protéines (%) des deux types de lactosérum doux. ....	24
Figure 8 Résultat d'analyse de teneur en protéine .....	27
Figure 9 Rations militaires.....	32
Figure 10 Aliment pour veaux.....	32
Figure 11 Lait pour bébés .....	32
Figure 12 Biscuits et confiseries .....	32
Figure 13 étapes principales du processus de fabrication .....	37
Figure 14 Ciblage géographique des bassins laitiers pour l'approvisionnement en lactosérum..	38
Figure 15 exemple de page web.....	43
Figure 16 Chiffre d'affaire "future whey (N à N+5) .....	48
Figure 17 Comparatif du chiffre d'affaire annuel : scénario optimiste Vs pessimiste .....	49
Figure 18 Résultat net annuels de Futurewhey (N à N+5) .....	51



## Liste des Tableaux

Tableau 1 : Tableau comparatif de composition (Yadav et al., 2015).....	3
Tableau 02 : principales protéines du lactosérum (Cailloux, 1998) .....	4
Tableau 03: principaux Acide aminés essentiels (gr/100gr) (Moletta, 2002).....	4
Tableau 04 : caractéristiques physico-chimiques des principales formes de Whey (Perez et Calvo, 2021) : .....	9
Tableau 5 : indices de qualité des différentes protéines (FAO, 2013) .....	9
Tableau 6 : Applications principales de la Whey protéine (Perez et Calvo, 2021) : .....	10
Tableau 7 : Caractéristiques physico-chimiques du lait cru.....	21
Tableau 8 : Caractéristiques physico-chimiques du lactosérum doux issu de la coagulation enzymatique (laboratoire).....	22
Tableau 9 : Caractéristiques physico-chimiques du lactosérum doux récupéré directement de la laiterie Igilait .....	23
Tableau 10 : Résultats des dénombrements de la flore microbienne du lait cru analysé (ufc/ml).....	24
Tableau 11 – Évolution des volumes du lactosérum Igilait au cours des étapes de traitement (filtration et concentration thermique).....	26
Tableau 12 : Segmentation des clients potentiels .....	31
Tableau 13 : Forces et faiblesses des concurrents .....	34
Tableau 14 : Positionnement stratégique de <i>FutureWhey</i> sur la chaîne de valeur .....	34
Tableau 15 : Piliers de la stratégie du positionnement .....	35
Tableau 16 : Politique de marketing .....	36
Tableau 17 : Objectifs marketing selon la méthode SMART .....	36
Tableau 18 : Fournisseurs stratégiques.....	38
Tableau 19 : postes créés. ....	39
Tableau 20 : Coûts d'investissement initial .....	44
Tableau 21 : Charges d'exploitation annuelles.....	44
Tableau 22 : Paramètres techniques et économiques de base.....	46
Tableau 23 : Scénario pessimiste de chiffre d'affaires.....	47
Tableau 24 : Scénario optimiste de chiffre d'affaires .....	47
Tableau 25 : comparaison des scénarios .....	48
Tableau 26 : résultat prévisionnel (scénario optimiste). ....	50
Tableau 27: Ratios financiers.....	50

## Liste des Abréviations

**4P:** Produit, Prix, Place, Promotion (Marketing-Mix)

**AAPI:** Agence Algérienne de Promotion de l'Investissement

**ANVREDET:** Agence Nationale de Valorisation des Résultats de la Recherche et du Développement Technologique

**B2B:** Business to Business

**BCAA:** Branched-Chain Amino Acids (Acides Aminés à Chaîne Ramifiée)

**CA:** Chiffre d'Affaires

**CDE:** Centre de développement d'entrepreneuriat

**COD:** Chemical Oxygen Demand (Demande Chimique en Oxygène)

**CRAPC:** Centre de Recherche Scientifique et Technique en Analyses Physico-Chimiques

**DA:** Dinar Algérien

**DIAAS:** Digestible Indispensable Amino Acid Score

**ENSA:** École Nationale Supérieure D'agronomie

**ENSV:** École Nationale Supérieure Vétérinaire

**ESSAIA:** École Supérieure des Sciences de l'Aliment et des Industries Agroalimentaires

**FAMT:** Flore Aérobie Mésophile Totale

**FAO:** Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture

**HIDAOA:** Hygiène des denrées alimentaires d'origine animale

**INATAA:** Institut de la nutrition, de l'alimentation et des technologies agro-alimentaires

**MDN:** Ministère de la Défense Nationale

**MENA:** Moyen-Orient et Afrique du Nord

**NF:** Nanofiltration

**GIPLAIT:** Groupe industriel des productions laitières

**ONIL:** Office National Interprofessionnel du Lait

**PDCAAS:** Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score

**R&D:** Recherche et Développement

**SMART:** Spécifique, Mesurable, Atteignable, Réaliste, Temporellement défini (Méthode de définition d'objectifs)

Ecole Nationale Supérieure Vétérinaire  
2025

**TASSILI DBK:** Laiterie Tassili à Draa Ben Khedda

**UFC:** Unité Formant Colonie

**UF:** Ultrafiltration

**USD:** Dollar Américain

**WPC:** Whey Protein Concentrate (Concentré de Protéines de Lactosérum)

**WPC35:** Whey Protein Concentrate avec 35% de protéines

**WPC80:** Whey Protein Concentrate avec 80% de protéines

**WPH:** Whey Protein Hydrolysate (Hydrolysate de Protéines de Lactosérum)

**WPI:** Whey Protein Isolate (Isolat de Protéines de Lactosérum)

## Introduction

L'Algérie possède une industrie laitière en pleine croissance, bien qu'encore dépendante de l'importation de lait en poudre. En 2023, la production nationale de lait cru était estimée à plus de 3,3 milliards de litres, dont environ 2,2 milliards sont transformés industriellement. Cependant, on estime qu'environ 1,1 milliard de litres de lait sont gaspillés ou non valorisés chaque année, en raison de pertes logistiques, de défauts de transformation ou de rejets involontaires (**ONIL, 2021**)

Parmi les produits et sous-produits non valorisés, le lactosérum figure en bonne place, étant souvent jeté sans aucune tentative de valorisation car considéré comme un déchet de l'industrie laitière.

Cependant, le lactosérum présente en réalité un fort potentiel de valorisation en raison de sa richesse en nutriments tels que les protéines solubles, le lactose, les minéraux et les vitamines. Il peut être valorisé dans divers domaines : en alimentation humaine pour l'élaboration de boissons protéinées, compléments alimentaires, en alimentation animale (comme source de protéines et d'énergie), en agriculture (fertilisant organique ou substrat pour la culture microbienne) et dans de nombreux autres domaines. Sa valorisation permet non seulement de réduire l'impact environnemental lié à son rejet, mais également de créer de nouvelles chaînes de valeur économiques (**Siso, 1996**).

A titre indicatif, la transformation fromagère en Algérie, notamment artisanale et semi-industrielle, génère un volume important de lactosérum. Selon les estimations, plus de 101 547 800 litres de lactosérum sont éliminés chaque année sans valorisation, dont 5 840 000 litres proviennent de la seule laiterie Tassili à Draa Ben Khedda. À l'instar de Tassili, la laiterie Igilait, située dans la région de Jijel, contribue également de manière significative à ce problème environnemental en rejetant plus de 1 million de litres de lactosérum par an. Ces rejets représentent à la fois une perte de ressources nutritives et une source majeure de pollution organique (**ONIL, 2021**).

C'est dans ce contexte que nous avons entrepris une revue bibliographique portant sur le lactosérum, ses potentialités de valorisation, les produits pouvant en être dérivés, et plus particulièrement sur les protéines qu'il contient ainsi que leurs applications, une partie

Ecole Nationale Supérieure Vétérinaire  
2025

expérimentale pour la production de lactosérum et enfin une partie économique pour finaliser le projet.

# **Partie bibliographique**

## **CHAPITRE I. Lactosérum**

### **I.1. Définition:**

Le lactosérum est un liquide jaune verdâtre, contenant une quantité importante de protéines de Lait environ 20% et riche en éléments nutritifs (**Muller et al.,2003**).

Le lactosérum est très fermentescible et fragile. Il représente 85 à 90% du volume de lait utilisé. Ce dernier est un sous-produit de la fromagerie et de la caséinerie, son pH est compris entre 5 et 6.5. Il représente près de 90% du lait mis en œuvre (**Laplanche,2004**)

Il est obtenu suite à la coagulation des caséines sous l'action de la présure (lactosérum doux), ou suite à l'acidification du lait (lactosérum acide) (**Morr, 1989**).

### **I.2. Sources industrielles du lactosérum :**

#### **I.2.1. Fromagerie :**

Il s'agit de l'ensemble des procédés permettant la transformation du lait en fromage, par des mécanismes de coagulation et d'agglomération des constituants laitiers, conduisant à la séparation en deux phases : une phase solide constituée du fromage, et une phase liquide appelée lactosérum (**Laplanche, 2004**).

#### **I.2.2. Beurrerie :**

C'est l'ensemble des procédés qui conduisent à la fabrication du beurre à partir du lait nature. Après écrémage de ce dernier suivi d'une extraction de la caséine par précipitation on obtient du « lactosérum écrémé » (**Laplanche, 2004**).

### **I.3. Types de lactosérum**

Le lactosérum doit être considéré comme un produit dérivé plutôt qu'un sous-produit de la fabrication des fromages, ou de la caséine. On distingue deux types :

#### **I.3.1. Lactosérum acide**

Le lactosérum acide est obtenu durant la fabrication du fromage, de la caséine ou de produits similaires par séparation du caillé après coagulation du lait et/ou des produits dérivés du lait. Cette dernière est principalement obtenue par acidification qui favorise la précipitation des caséines à leurs pH isoélectriques de 4,6 par ajout d'acide lactique (**Violleau, 1999**).

Lorsque la protéine est combinée à des sels de calcium, l'acidification entraîne sa déminéralisation qui fait passer dans le sérum une part importante d'élément minéraux, notamment le calcium et le phosphore (**Sottiez, 1990**).

Les lactosérums acides sont moins riches en lactose et plus riche en minéraux. Ils posent des difficultés pour la déshydratation (**Moletta, 2002**).

### **I.3.2. Lactosérum doux**

Il est obtenu après la coagulation de la caséine sous l'action de la présure sans acidification préalable, on obtient alors un sérum doux, pauvre en sels minéraux et riche en lactose et en protéines.

Lorsque le lactosérum de fromagerie n'est pas traité avec toutes les précautions nécessaires, la poursuite de la fermentation naturelle augmente son acidité. Ce type est issu de la fabrication de fromage à pâte pressée cuite ou non cuite (Emmenthal, Edam...etc.), où le pH varie entre 5 et 6,3 (**Morr et Hae, 1993**).

### **I.4. Composition du lactosérum**

Selon le procédé de coagulation et la composition initiale du lait (donc la saison, la race des animaux, le type d'alimentation, etc.), la composition du lactosérum peut varier sensiblement (tableau 1) (**Yadav et al., 2015**).

D'après **Morr et Hae (1993)**, le lactosérum est riche en lactose et en potassium. Dans le Lactosérum acide, une partie du lactose a été transformé en acide lactique; le lactosérum doux est pauvre en calcium alors que le lactosérum acide est riche en calcium.

**Tableau 1 : Tableau comparatif de composition (Yadav et al., 2015).**

Type de lait	Protéines (g/L)	Lactose (g/L)	Matières grasses (g/L)	Minéraux (g/L)
Vache	3,0 – 6,0	40 – 52	0,2 – 0,8	5 – 8
Chèvre	4,5 – 6,5	40 – 45	0,4 – 1,0	5 – 8
Brebis	6,0 – 8,0	35 – 42	0,8 – 1,5	6 – 9
Procédé	pH	Dénaturation des protéines	Usage principal	
Présure	> 5,6	Faible	WPC, nutrition	
Acide	< 4,6	Élevée	Fermentation	



### **I.4.1. Description des composants**

#### **I.4.1.1. Protéines :**

Bien que le lactosérum soit source d'une variété de nutriments, ce sont les protéines sériques qui constituent son principal intérêt. Les protéines du lactosérum, représentant environ 20% des protéines du lait, sont constituées d'une vingtaine d'acides aminés dont 9 essentiels que l'organisme ne peut synthétiser et doit puiser dans l'alimentation.

Les protéines ne forment pas la fraction la plus abondante du lactosérum, mais elle est la plus intéressante sur le plan économique et nutritionnel qui est supérieures aux protéines du blanc d'œuf, prise comme protéines de référence. En outre des utilisations nutritives et nutraceutiques, les protéines du lactosérum ont également des propriétés de former des gels, stabiliser des émulsions, stabiliser des mousses et interagir avec d'autres protéines (**Smithers, 2008**).

Les protéines du lactosérum sont décrites dans le tableau 02 et les principaux acides aminés dans le tableau 03

**Tableau 02 : principales protéines du lactosérum (Cailloux, 1998)**

<b>Protéine</b>	<b>Poids moléculaire (kDa)</b>	<b>Concentration (g/l)</b>	<b>Point isométrique</b>
β-lactoglobuline	18.36	2.5-3	5.4
α -lactalbumine	14.2	1.2	4.4
Sérumalbumine	66	0.3 -0.4	5.1
Lactoferrine	80	0.10	7.9

**Tableau 03: principaux Acide aminés essentiels (gr/100gr) (Moletta, 2002)**

<b>Acide aminé</b>	<b>Teneur</b>
Tryptophane	1,38
Lysine	10,9
Méthionine	1,95
Cystéine	1,35
Leucine	7,09
Isoleucine	4,06
Phénylalanine	3,47
Valine	5,54

Thréonine	5,03
-----------	------

#### **I.4.1.2. Lactose :**

Le lactose est le principal constituant du lactosérum. Il est caractérisé par : une solubilité limitée et un pouvoir sucrant faible. Comme tous les composants des aliments de l'homme et des animaux, le lactose présente d'abord un intérêt nutritionnel, sa seule source dans la nature est le lait (**Dominici et al., 2022**).

Il contribue à stabiliser le pH intestinal (**Visser et al., 1988**). En plus de son apport énergétique,

le lactose est considéré comme un sucre de structure, il intervient dans la fixation du calcium et une fois digéré il fournit du galactose qui est indispensable pour la constitution des cellules nerveuses des jeunes animaux (**Visser et al., 1988**).

#### **I.4.1.3. Les minéraux**

Les 8% à 10% des matières salines de l'extrait sec de sérum sont constitués pour plus de 50% de chlorures de sodium et de potassium et pour le reste, différents sels de calcium, principalement sous forme de phosphate de calcium (**Vrigaud, 1983**).

Les sels minéraux constituent en quelques sortes les éléments indésirables du sérum. En effet, il semblerait qu'une quantité relativement élevée constitue un obstacle à l'utilisation du lactosérum dans l'alimentation humaine et infantile.

Elle est également un écueil pour les traitements technologiques, notamment en vue de préparation de lactose pur et des protéines. Il est donc avantageux de déminéraliser le sérum partiellement grâce à des techniques physico-chimiques, telle que l'électrodialyse (**Vrigaud, 1983**).

## CHAPITRE II. Whey Protéine

### II.1. Généralités :

#### II.1.1. Définition de la Whey Protéine

La Whey protéine, ou protéine de lactosérum, est une protéine extraite du lactosérum, un liquide résiduel obtenu lors de la fabrication du fromage à partir du lait de vache. Ce lactosérum, initialement un sous-produit industriel, est aujourd'hui valorisé pour ses propriétés nutritionnelles et fonctionnelles.

Cette protéine est reconnue pour sa rapidité d'absorption et sa haute valeur biologique, c'est-à-dire sa capacité à fournir tous les acides aminés essentiels nécessaires à la synthèse protéique musculaire et à d'autres fonctions métaboliques (Changhui et al., 2022).

#### II.1.2. Composition de la Whey Protéine

La Whey protéine est une source riche en protéines globulaires solubles, composées de plusieurs fractions protéiques majeures :

- **$\beta$ -lactoglobuline** (environ 50-55% des protéines de Whey) : principale protéine, responsable des propriétés fonctionnelles.
- **$\alpha$ -lactalbumine** (environ 20-25%) : riche en tryptophane, acide aminé essentiel.
- **Albumine sérique bovine** : présente en moindre quantité.
- **Immunoglobulines, lactoferrine, glycomacropeptides** : fractions bioactives avec des propriétés immunomodulatrices, antimicrobiennes et antioxydantes.

La Whey contient un profil complet d'acides aminés essentiels, notamment des acides aminés à chaîne ramifiée (BCAA= Branched-Chain Amino Acids) comme la leucine, clé dans la stimulation de la synthèse protéique musculaire (Tang et al., 2025 ).

### II.2. Typologie des Whey protéines : WPC, WPI, WPH, Native

Les protéines de lactosérum, ou Whey protéines, sont un sous-ensemble de protéines solubles du lait obtenues lors de la fabrication du fromage. Selon les procédés de transformation

appliqués, on distingue principalement quatre types de Whey protéines : le concentré (WPC), l'isolat (WPI), l'hydrolysate (WPH) et la Whey native. Chaque type présente des caractéristiques biochimiques et fonctionnelles distinctes, liées à la méthode d'extraction, à la teneur finale en protéines, et à leur degré d'intégrité ou de transformation (**Pérez et Calvo, 2021**).

#### **II.2.1. WPC – Whey Protein Concentrate (Concentré de Protéines de Lactosérum)**

Le WPC est obtenu à partir du lactosérum doux par ultrafiltration à basse température. Ce procédé utilise des membranes poreuses (taille des pores entre 1 000 et 100 000 Daltons) qui laissent passer l'eau, le lactose et les sels minéraux tout en retenant les protéines.

Le taux de protéines du WPC varie généralement entre 35 % (WPC35) et 80 % (WPC80), selon le degré de concentration appliqué. Le WPC contient aussi des résidus de lactose (4–55 %), de graisses (1–8 %), et de minéraux.

Ce produit est le plus économique à produire. Il est prisé dans les boissons protéinées, barres énergétiques, compléments sportifs, alimentation infantile, et la nutrition clinique (**Smithers, 2008**).

#### **II.2.2. WPI – Whey Protein Isolate (Isolat de Protéines de Lactosérum)**

Le WPI est un dérivé du WPC obtenu par ultrafiltration suivie d'une diafiltration plus poussée ou par échange d'ions (chromatographie ionique). L'objectif est de retirer un maximum de lactose, graisses et cendres, tout en conservant une concentration protéique > 90 %.

Teneur typique : protéines  $\geq$  90 %, lactose < 1 %, graisses < 1 %, cendres 2–3 %.

Le WPI est adapté aux régimes hypocaloriques, aux personnes intolérantes au lactose, et aux formules nutritionnelles spécifiques pour sportifs ou convalescents. Il est aussi très utilisé dans la formulation de produits pharmaceutiques clinique (**Smithers, 2008**).

#### **II.2.3. WPH – Whey Protein Hydrolysate (Hydrolysate de Protéines de Lactosérum)**

Le WPH est un produit résultant de l'hydrolyse enzymatique partielle des protéines de Whey (généralement à partir de WPC ou WPI). Les enzymes (protéases spécifiques) coupent les chaînes peptidiques pour produire des oligopeptides et di-/tri-peptides plus rapidement absorbés par l'intestin.

Le WPH est utilisé dans les formules infantiles pour nourrissons allergiques, les produits sportifs de récupération rapide, et certains produits médicaux (aliments entériques) clinique (Smithers, 2008).

#### **II.2.4. Whey Native (Whey Protéine Native)**

La Whey native est une Whey haut de gamme, obtenue directement à partir du lait cru (et non d'un sous-produit fromager) via microfiltration à froid. Ce procédé préserve au maximum l'intégrité des protéines, notamment de l'alpha-lactalbumine, qui est souvent dénaturée dans les procédés thermiques classiques.

La Whey native est caractérisée par une teneur élevée en protéines intactes, en immunoglobulines, lactoferrine, et facteurs bioactifs. Elle est faible en lactose, graisses et cendres. Son coût est plus élevé, mais biodisponibilité et activité biologique supérieures.

Utilisée dans des produits hautement bioactifs ou premium, en nutrition médicale, nutrition infantile de haute qualité, ou nutrition sportive avancée clinique (Smithers, 2008).

#### **II.2.5. Caractéristiques distinctives des différents types de Whey**

Chaque type de protéine de lactosérum présente des profils analytiques distincts en termes de teneur en protéines, lactose, lipides, minéraux (cendres), et bioactivité résiduelle. Ces différences (Tableau 4) résultent directement du degré de transformation appliqué ainsi que des procédés de séparation utilisés.

**Tableau 04 : caractéristiques physico-chimiques des principales formes de Whey (Perez et Calvo, 2021) :**

Type de Whey	% Protéines	% Lactose	% Lipides	% Cendres (minéraux)	Commentaires
<b>WPC 35</b>	34–38 %	45–50 %	3–6 %	6–8 %	Utilisé dans la nutrition animale ou les produits de faible coût
<b>WPC 80</b>	76–82 %	5–8 %	1–3 %	4–6 %	Très courant en nutrition sportive
<b>WPI</b>	≥ 90 %	< 1 %	< 1 %	2–3 %	Recommandé pour les régimes faibles en glucides ou sans lactose
<b>WPH (hydrolysé)</b>	70–90 %	Variable	< 1–2 %	4–6 %	Taux dépend du substrat (WPC/WPI), absorption plus rapide
<b>Whey native</b>	≥ 90 %	1–3 %	< 1 %	2–4 %	Protéines intactes, riche en alpha-lactalbumine et lactoferrine

#### II.2.6. Indices de qualité : PDCAAS et DIAAS

Deux indicateurs permettent de comparer la qualité nutritionnelle des protéines alimentaires :

- **PDCAAS** (Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score) : Score corrigé de la digestibilité fécale.
- **DIAAS** (Digestible Indispensable Amino Acid Score) : Score basé sur la digestibilité iléale, plus récent et plus précis.

Ces inducteurs varient selon la source protéique (tableau 5).

**Tableau 5 : indices de qualité des différentes protéines (FAO, 2013)**

Source protéique	PDCAAS	DIAAS (≥3 ans)
Whey (WPI, WPH)	1,00	1,10 – 1,24
Caséine	1,00	1,08
Protéine de soja	1,00	0,90
Pois, riz, végétales	0,75 – 0,95	0,65 – 0,82
Gélatine	0,00	0,00

#### II.2.7. Utilisations et Applications Industrielles

La Whey protéine est utilisée dans une multitude de produits alimentaires et industriels grâce à ses propriétés fonctionnelles (émulsifiantes, texturantes, nutritives) (Tableau 6) :

**Tableau 6 : Applications principales de la Whey protéine (Perez et Calvo, 2021) :**

<b>Secteur</b>	<b>Applications principales</b>
Produits laitiers	Yaourts, fromages frais, glaces enrichies en protéines
Produits carnés	Amélioration de la texture, conservation et valeur nutritionnelle des produits à base de viande
Boulangerie	Enrichissement en protéines, amélioration de la texture, conservation prolongée
Boissons protéinées	Boissons fonctionnelles, compléments nutritionnels pour sportifs et personnes âgées
Aliments médicaux	Formulations pour nourrissons, patients en convalescence, personnes âgées avec besoins nutritionnels spécifiques
Nutraceutiques	Compléments alimentaires pour soutien immunitaire, contrôle du poids, santé cardiovasculaire

### **II.3. Procédés d'Extraction et de Purification**

L'extraction de la Whey protéine commence par la séparation du lactosérum du caillé lors de la fabrication du fromage. Ce lactosérum liquide est ensuite soumis à des procédés visant à concentrer et purifier les protéines.

#### **II.3.1. Techniques classiques:**

- **Ultrafiltration (UF)** : séparation par membrane qui retient les protéines et laisse passer l'eau, le lactose et les sels, permettant d'obtenir un concentré de Whey.
- **Nanofiltration (NF)** : affinage pour éliminer davantage de lactose et sels.
- **Chromatographie** : techniques d'échange ionique et d'exclusion de taille pour isoler des fractions spécifiques de protéines.

#### **II.3.2. Techniques émergentes et innovantes :**

- **Extraction par solvants organiques, traitements thermiques contrôlés, lyophilisation** pour préserver la structure des protéines.

- **Technologies avancées** comme la haute pression hydrostatique, l'ultrasonication et l'extrusion améliorent les propriétés fonctionnelles (gélification, texture) et la stabilité des protéines, tout en augmentant la biodisponibilité des peptides bioactifs.

Ces méthodes permettent d'obtenir des produits adaptés à diverses applications, en maximisant la pureté et la fonctionnalité des protéines extraites (**Mao et al, 2021**).



# **Partie expérimentale**

## Objectifs

- **Objectif principal**

L'objectif principal de notre étude est d'évaluer la faisabilité technique de la production d'un concentré de protéines de lactosérum (WPC) par lyophilisation, en partant d'un lactosérum doux issu de fabrications fromagères locales, en utilisant des moyens de laboratoire accessibles.

- **Objectifs spécifiques**

Comme objectifs spécifiques, nous nous sommes focalisés à

- Déterminer les caractéristiques physicochimiques du lait cru et du lactosérum obtenu par caillage enzymatique.
- Évaluer la qualité microbiologique des échantillons de lait utilisé dans l'expérimentation.
- Produire un lactosérum doux par caillage enzymatique en conditions expérimentales à partir de lait cru collecté dans la laiterie Igilait.
- Comparer les caractéristiques physicochimiques du lactosérum obtenu expérimentalement avec un lactosérum doux récupéré directement auprès de la laiterie Igilait.
- Prétraiter le lactosérum par filtration grossière et concentration thermique douce.
- Réaliser une lyophilisation du lactosérum concentré et obtenir une poudre de WPC.
- Observer les propriétés visuelles, sensorielles et physiques du produit final.
- Estimer les rendements de transformation et proposer des pistes d'amélioration.

## **Chapitre III. Matériel et Méthodes**

### **III.1. Matériel**

#### **III.1.1. Matériel biologique : Lait et lactosérum**

Le lait utilisé pour cette étude est un lait cru de vache, exclusivement collecté auprès de la laiterie Igilait située dans la région de Jijel. Ce lait a servi à la fabrication expérimentale de fromages à pâte molle en laboratoire, selon un protocole de coagulation enzymatique, en vue de récupérer du lactosérum doux.

En parallèle, un second échantillon de lactosérum doux a été obtenu directement auprès de la laiterie vigilait, sans passage par une étape de transformation fromagère expérimentale. Ces deux sources ont permis de comparer la qualité du lactosérum produit artisanalement en laboratoire et celui fourni industriellement.

#### **III.1.2. Matériel de microbiologie classique**

Pour l'évaluation microbiologique du lait et du lactosérum, le matériel suivant a été mobilisé :

- Boîtes de Pétri stériles
- Micropipettes à volume variable (100–1000  $\mu$ L)
- Anses de platine stérilisées à la flamme
- Bain-marie pour la préparation des milieux
- Bec Bunsen pour la stérilisation rapide
- Étuves d'incubation réglées à 37 °C et 30 °C selon les exigences des flores microbiennes
- Réfrigérateur (4 °C) pour le stockage des échantillons
- Congélateur (-40 °C) pour la congélation des échantillons avant lyophilisation

#### **III.1.3. Appareillage spécifique : Lactoscan Milk Analyser**

Un analyseur Lactoscan Milk Analyser a été utilisé pour effectuer les mesures physicochimiques suivantes sur les échantillons de lait et de lactosérum :

- pH
- Teneur en protéines
- Densité
- Teneur en matières grasses

- Solides non gras
- Point de congélation
- Acidité Dornic

Les données issues de cet appareil ont servi de base à l'évaluation de la qualité des matières premières.

#### **III.1.4. Réactifs et milieux gélosés**

Les milieux suivants ont été utilisés pour les analyses microbiologiques, selon les normes ISO correspondantes :

- **Gélose PCA** (Plate Count Agar) : dénombrement de la flore mésophile aérobie totale (FAMT) selon la norme ISO 4833-1:2013
- **Gélose VRBL** : dénombrement des coliformes Thermotolérants selon la norme ISO 4832:2006
- **Gélose Baird-Parker** : recherche et dénombrement de *Staphylococcus* spp. selon la méthode ISO 6888-1:2021

### III. 2. Méthodes

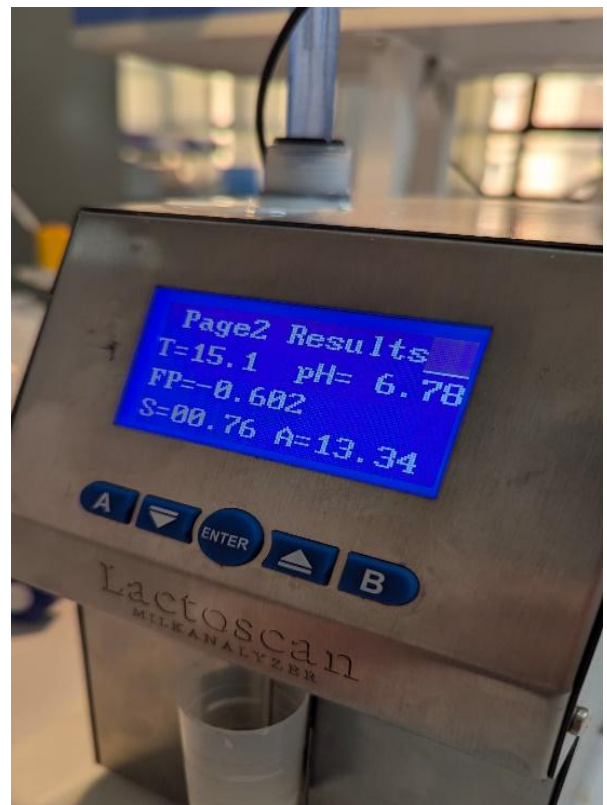
#### III.2.1. Étude physicochimique au Lactoscan

Les analyses physicochimiques ont été réalisées à l'aide d'un Lactoscan (Figure 1) sur les deux échantillons suivants :

- Lait cru entier
- Lactosérum doux issu de la coagulation enzymatique
- Lactosérum doux industriel provenant de la laiterie Igilait.

Les paramètres mesurés comprenaient :

- pH
- Teneur en matières grasses
- Teneur en protéines
- Solides non gras
- Densité
- Point de congélation
- Acidité Dornic
- Eau ajoutée (test de dilution)



**Figure 1 Analyse physicochimique du lait cru au Lactoscan**

Les résultats obtenus ont été comparés aux normes de qualité du lait cru et du lactosérum afin d'évaluer la **fraîcheur**, la **pureté** et le **potentiel de valorisation** de la matière première.

### III.2.2. Étude microbiologique

Une étude microbiologique a été conduite sur les échantillons de lait cru afin de déterminer leur qualité sanitaire. Le protocole comprenait les étapes suivantes :

- Préparation de dilutions en série dans du tryptone sel eau (TSE).
- Ensemencement en surface sur milieu Baird Parker pour le dénombrement des *Staphylococcus* spp.
- Ensemencement en profondeur pour la FAMT et les coliformes Thermotolérants.
- Incubation dans des étuves à 30 °C pour la FAMT et 37 °C pour les coliformes Thermotolérants et les staphylocoques pendant 24 h.

#### **Flore mésophile aérobie totale (FAMT)**

- Milieu : gélose PCA
- Incubation : 30 °C pendant 72 h
- Norme : ISO 4833-1:2013

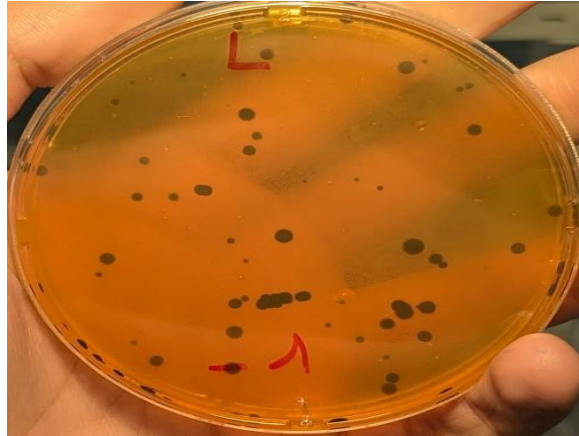
#### **Coliformes Thermotolérants**

- Milieu : gélose VRBL
- Incubation : 37 °C pendant 24 h
- Norme : ISO 4832:2006

#### ***Staphylococcus* spp.**

- Milieu : gélose Baird Parker
- Incubation : 37 °C pendant 24 h
- Norme : ISO 6888-1:2021

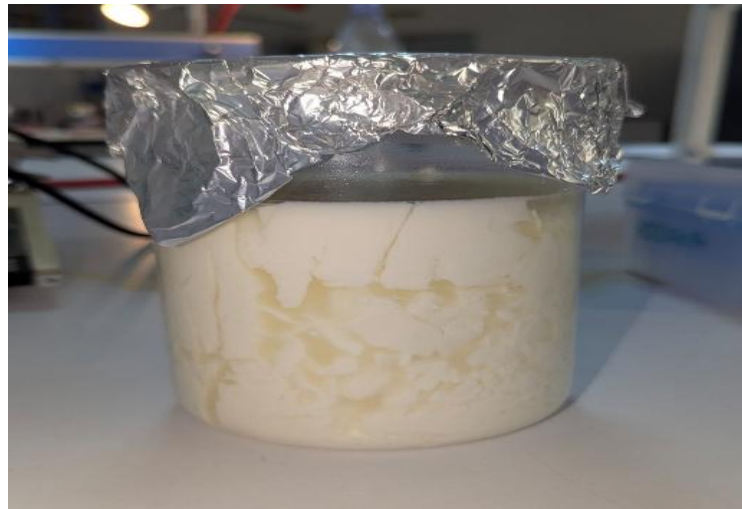
Les résultats ont été exprimés en UFC/ml et interprétés selon les seuils de qualité microbiologique du lait cru en vigueur dans la réglementation algérienne et définis dans les critères microbiologiques des denrées alimentaire du JO de 2017.



**Figure 2 Culture sur gélose Baird Parker des staphylocoques**

### **III.2.3. Production de lactosérum et traitement des échantillons avant lyophilisation**

La production de lactosérum a été réalisée à partir de lait cru de vache par coagulation enzymatique, selon un protocole fromager simplifié (Figure 3).



**Figure 3 Coagulation enzymatique du lait en laboratoire**

#### **III.2.3.1. Étapes de production:**

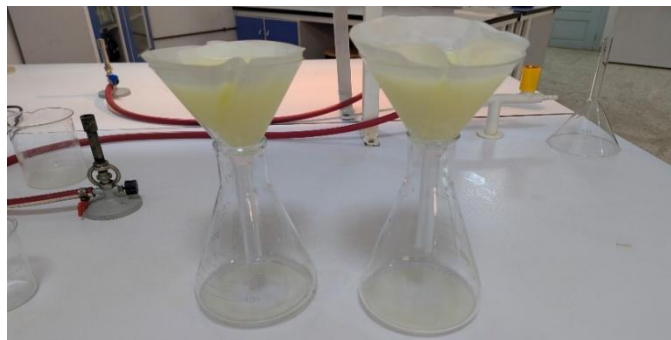
1. Coagulation du lait à 38–40 °C avec ajout de présure
2. Temps de prise : 40 minutes
3. Découpage du caillé, puis brassage doux
4. Égouttage mécanique à l'aide de toiles en coton (pore ~200 µm)
5. Récupération du lactosérum doux, de couleur jaune clair, limpide à semi-lactescent

### III.2.3.2. Prétraitement du lactosérum:

Avant la lyophilisation, le lactosérum a subi deux étapes de concentration :

#### ❖ Filtration grossière (figure 4)

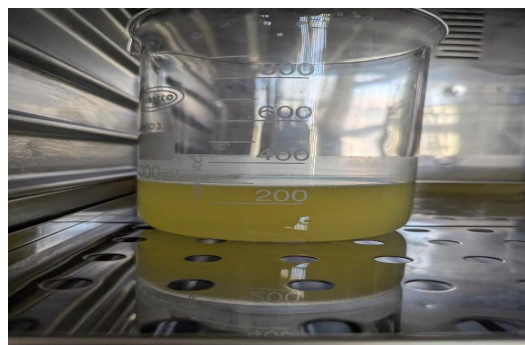
- Matériel : papier filtre 20 microns, entonnoirs larges, béciers
- Objectif : éliminer les résidus solides (caillé, lipides)
- Durée : 3 à 6 heures selon le volume
- Résultat : lactosérum plus limpide, prêt pour la concentration



**Figure 4 Filtration grossière du lactosérum doux à l'aide de papier 20  $\mu$ m**

#### ❖ Concentration thermique douce (figure 5)

- Méthode : étuve à convection forcée réglée à 55 °C
- Contenant : bacs en verre à large surface
- Durée : 48 heures
- Volume initial : 1 500 mL  $\rightarrow$  réduction à  $\sim$ 300 mL
- Objectif : évaporer l'eau sans dénaturer les protéines
- Résultat : concentré semi-visqueux, crème foncée, sans odeur caramélisée



**Figure 5 Évaporation douce du lactosérum dans étuve à 55 °C**

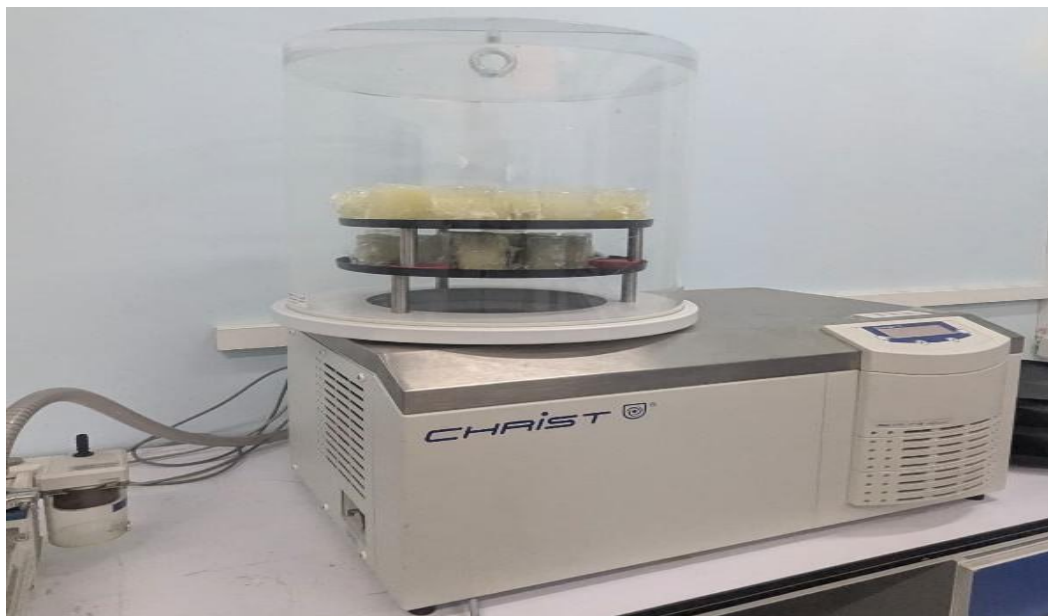


### III.2.4. Lyophilisation

La lyophilisation a été réalisée sur le lactosérum préalablement concentré, afin d'obtenir une poudre de concentré de protéines de lactosérum (WPC) stable et réhydratable.

#### Matériel utilisé (figure 6) :

- Lyophilisateur de laboratoire : *Christ Beta 2-B LD*
- Contenants : pots alimentaires stériles de 100 mL
- Congélateur : -40 °C pour la précongélation



**Figure 6 : Chargement des échantillons dans le lyophilisateur**

#### III.2.4.1. Étapes du processus :

##### ❖ Précongélation

- Température : -40 °C
- Durée : 7 heures
- Méthode : le concentré a été réparti en fines couches (2–3 cm d'épaisseur)

##### ❖ Séchage primaire (sublimation)

- Température des plateaux : -10 °C

- Pression : 0,2 mbar
- Durée : 24 heures

❖ **Séchage secondaire (désorption)**

- Température : 0 °C
- Pression : 0,1 mbar
- Durée : 8 heures

❖ **Résultat final :**

- Aspect : poudre légère, blanc cassé à ivoire
- Texture : fine à légèrement grumeleuse
- Masse obtenue : ~30 g de WPC par litre de lactosérum
- Solubilité : excellente, sans précipité
- Réhydratation rapide en <1 min.

Ces conditions opératoires ont démontré leur efficacité en permettant l'obtention d'un produit final aux propriétés physico-chimiques remarquables : une poudre légère, de couleur blanc cassé à ivoire, dotée d'une excellente solubilité sans précipité et d'une réhydratation rapide en moins d'une minute. De plus, le rendement par litre de lactosérum est un indicateur clé de l'efficacité du procédé.

## Chapitre IV. Résultats et Discussion

### IV.1. Résultats de l'étude physicochimique

Les analyses physicochimiques ont été réalisées à l'aide d'un appareil Lactoscan, sur deux types d'échantillons :

- Le **lait cru initial**, collecté auprès de la laiterie Igilait (Jijel).
- Deux échantillons distincts de **lactosérum doux** :
  - L'un issu de la coagulation enzymatique expérimentale en laboratoire à partir du lait Igilait (lactosérum artisanal),
  - L'autre fourni directement par la laiterie Igilait, sans transformation préalable (lactosérum industriel).

Les paramètres physicochimiques suivants ont été mesurés : pH, matières grasses, protéines, solides non gras, densité, point de congélation, et acidité Dornic. Les résultats obtenus sont répertoriés dans le tableau 7,8 et 9.

**Tableau 7 : Caractéristiques physico-chimiques du lait cru.**

Paramètre	Symbole	Valeur Mesurée
<b>Matières Grasses</b>	F	4,01 %
<b>Solides non gras</b>	S	9,33 %
<b>Densité</b>	D	1,03185 g/cm <sup>3</sup>
<b>Protéines</b>	P	3,41 %
<b>Acidité Dornic</b>	A	13,34 °D
<b>pH</b>	pH	6,78
<b>Point de Congélation</b>	FP	-0,602 °C
<b>Eau Ajoutée</b>	W	0,00 %

Les résultats obtenus pour le lait cru (tableau 7) montrent que le lait cru que nous avons utilisé pour l'expérimentation possède les propriétés suivantes

- Matières grasses (4,01 %) : La teneur en lipides est légèrement supérieure à la moyenne standard d'un lait entier (~3,5 %), ce qui peut refléter une origine laitière de qualité ou une alimentation riche en énergie chez les animaux producteurs.
- Solides non gras (9,33 %) et protéines (3,41 %) : Ces valeurs confirment un lait non dilué et nutritive ment dense, favorable à la transformation fromagère.

- Densité (1,03185 g/cm<sup>3</sup>) : Élimine toute suspicion de mouillage frauduleux.
- Acidité Dornic (13,34 °D) et pH (6,78) : Indiquent une fraîcheur parfaite du lait, bien en dessous du seuil de 18 °D. Aucun début de fermentation n'est détectable.
- Point de congélation (-0,602 °C) et eau ajoutée (0,00 %) : Ces paramètres valident une authenticité complète du lait, sans aucune trace de dilution.

Le lait utilisé est de qualité hygiénique et nutritionnelle optimale, ce qui garantit une bonne base pour la fabrication fromagère et la récupération d'un lactosérum valorisable.

**Tableau 8 : Caractéristiques physico-chimiques du lactosérum doux issu de la coagulation enzymatique (laboratoire)**

Paramètre	Symbole	Valeur Mesurée
<b>Matières Grasses</b>	F	0,00 %
<b>Solides non gras</b>	S	6,80 %
<b>Protéines</b>	P	2,51 %
<b>pH</b>	pH	6,15
<b>Point de Congélation</b>	FP	-0,407 °C

Le lactosérum doux que nous avons obtenu au laboratoire après opération de caillage aux enzymes a montré un taux de :

- Matières grasses nul 0,00 %), ce résultat conforme, indiquant une bonne séparation du caillé et que les matières grasses sont restées au niveau du caillé.
- Solides non gras (6,80 %) : Cette valeur est relativement élevée pour un lactosérum, ce qui suggère une concentration utile de nutriments (lactose, protéines, sels minéraux).
- Protéines (2,51 %) : Très intéressante, cette concentration dépasse les standards typiques du lactosérum (souvent < 1 %), indiquant soit un profil riche en protéines sériques, soit une concentration partielle spontanée par décantation ou égouttage efficace.
- pH (6,15) : Typique d'un lactosérum doux issu de coagulation enzymatique, non acidifié.

Le lactosérum doux obtenu expérimentalement par caillage enzymatique présente un profil très favorable à la concentration en protéines, avec une faible charge lipidique et un bon potentiel de transformation en poudre WPC. Son acidité modérée et son bon contenu en protéines sériques en font une base fonctionnelle de qualité.

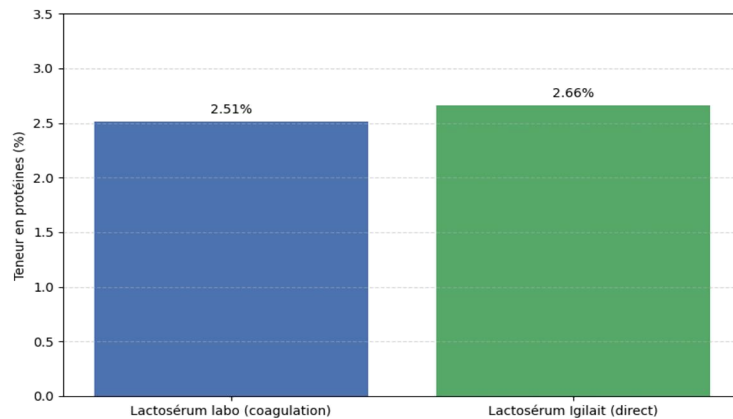
**Tableau 9 : Caractéristiques physico-chimiques du lactosérum doux récupéré directement de la laiterie Igilait**

Paramètre	Symbole	Valeur mesurée
<b>Matières Grasses</b>	F	0,00 %
<b>Solides non gras</b>	S	7.19%
<b>Protéines</b>	P	<b>2,66 %</b>
<b>pH</b>	pH	6.54
<b>Point de congélation</b>	FP	-0,433 °C

Les résultats du lactosérum doux fourni directement par la laiterie Igilait montrent une teneur en protéines presque similaire (2,66 %) à celle mesurée dans le lactosérum issu de la coagulation enzymatique en laboratoire (2,51 %) (figure 7). Cette légère différence, peut s'expliquer par un égouttage industriel plus poussé.

La valeur nulle en matières grasses et le pH modéré confirment qu'il s'agit d'un lactosérum doux bien séparé du caillé, et exempt de fermentation secondaire.

Ces résultats sont encourageants car ils montrent que le lactosérum issu directement de l'industrie peut être aussi intéressant que celui fabriqué artisanalement, en termes de composition. Cela ouvre la voie à une valorisation directe du lactosérum industriel, sans nécessiter une étape préalable de transformation fromagère en laboratoire.



**Figure 7 Comparaison des teneurs en protéines (%) des deux types de lactosérum doux.**

#### IV. 2. Résultats de l'étude microbiologique

L'évaluation de la qualité microbiologique du lait cru a été réalisée à travers un dénombrement sur gélose après dilutions en série, ciblant les principales flores indicatrices d'hygiène. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant 10 :

**Tableau 10 : Résultats des dénombrements de la flore microbienne du lait cru analysé (ufc/ml)**

Type de flore	Dénombrement (UFC/ml)	Seuils réglementaires m /M
<b>Coliformes Thermotolérants</b>	$3 \times 10^4$	$5.10^2/5.10^3$
<b>Flore Aérobie Mésophile Totale (FAMT)</b>	$1,76 \times 10^4$	$3.10^5/3.10^6$
<b><i>Staphylococcus</i> spp.</b>	$1 \times 10^3$	$10^2//10^3$

Les résultats obtenus montrent que

- La flore mésophile aérobie totale ( $1,76 \times 10^4$  UFC/ml) reflète une charge globale relativement élevée, mais courante pour un lait cru non réfrigéré à court terme. Elle

témoigne de la présence de bactéries d'environnement, qui ne sont pas nécessairement pathogènes, mais représentent un indicateur global de propreté et de manipulation.

- La présence de coliformes Thermotolérants à raison de  $3 \times 10^4$  UFC/ml dépasse les seuils admis pour un lait de qualité hygiénique généralement. Cela indique une contamination environnementale probable, due à une hygiène de traite insuffisante ou un stockage prolongé à température ambiante.
- Le dénombrement de *Staphylococcus* spp. à  $10^3$  UFC/ml reste dans une zone tolérable, mais impose une prudence particulière, notamment si l'espèce dominante est *Staphylococcus* spp. Cette flore est souvent liée à des contaminations croisées via la peau ou le matériel.

Les résultats révèlent une charge microbienne importante mais attendue pour un lait cru non pasteurisé. Ils justifient pleinement la nécessité de traitements thermiques préalables à toute valorisation industrielle (comme la pasteurisation), afin de garantir la sécurité du produit fini.

### **IV.3. Rendements de la fabrication de lactosérum**

Le rendement global du procédé a été évalué à travers l'évolution des volumes au cours des étapes de transformation, depuis la récupération du lactosérum doux jusqu'à l'obtention d'un concentré prêt à lyophiliser. Deux lots distincts ont été traités, permettant de documenter les pertes ou réductions à chaque phase.

#### **IV.3.1. Réduction volumique à chaque étape**

Le lactosérum doux récupéré directement auprès de la laiterie Igilait a été soumis à deux étapes de prétraitement successives : une filtration grossière suivie d'une concentration thermique douce à 55 °C. Le suivi des volumes a permis d'estimer les pertes ou réductions à chaque phase (Tableau 11)

**Tableau 11 – Évolution des volumes du lactosérum Igilait au cours des étapes de traitement (filtration et concentration thermique)**

Étape	Volume mesuré (mL)	Réduction (%) par rapport à l'étape précédente
<b>Lactosérum brut (non traité)</b>	3 000	–
<b>Après filtration grossière</b>	2 300	-23,33 %
<b>Après concentration thermique</b>	1 330	-42,17 %

La filtration a entraîné une perte modérée ( $\approx 700$  mL), principalement liée à l'élimination des résidus de caillé, lipides en suspension et dépôts colloïdaux. La réduction thermique a permis une concentration progressive du lactosérum par évaporation douce, sans traitement agressif ni dénaturation visible. L'objectif principal de cette étape était de réduire la charge en eau pour faciliter la lyophilisation, tout en préservant les protéines sériques.

#### **IV.3.2. Concentration protéique finale (analyse Kjeldahl)**

À l'issue des étapes de filtration et de concentration thermique, le lactosérum obtenu a été soumis à une lyophilisation afin d'obtenir une poudre de concentré de protéines de lactosérum (WPC). Un échantillon final de cette poudre a été envoyé au Centre de Recherche Scientifique et Technique en Analyses Physico-Chimiques (CRAPC) pour détermination de la teneur en protéines totales selon la méthode Kjeldahl, reconnue comme méthode de référence pour l'analyse de l'azote total dans les matrices alimentaires.

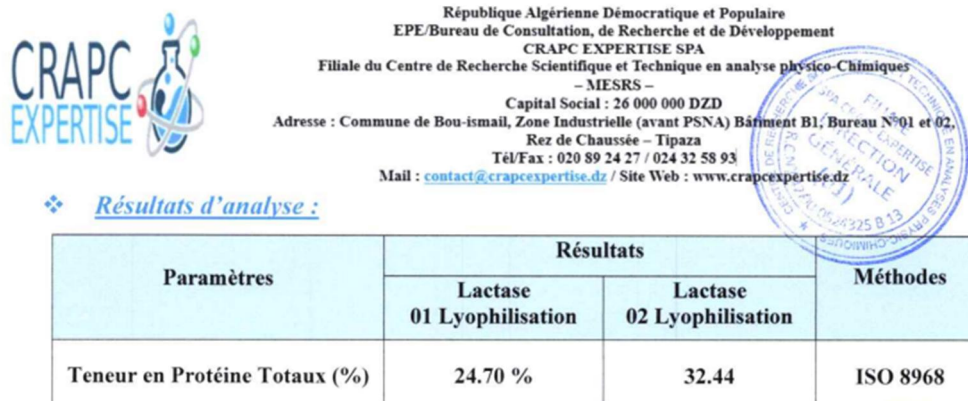
L'analyse a révélé une teneur en protéines totales de 32,44 % dans la poudre finale obtenue.

Ce résultat est particulièrement significatif, car il se rapproche du seuil de 35 % utilisé comme référence industrielle pour les concentrés de type WPC35. Il montre qu'il est possible, avec un protocole simple (sans ultrafiltration ni osmose inverse), d'atteindre un niveau de concentration protéique élevé, à partir d'un lactosérum local, en s'appuyant uniquement sur une évaporation douce suivie d'une lyophilisation maîtrisée.



## Ecole Nationale Supérieure Vétérinaire 2025

Ce résultat confirme la valeur ajoutée du procédé expérimental, tant sur le plan qualitatif que fonctionnel, et représente une étape clé vers une potentielle valorisation locale du lactosérum sous forme de poudre protéique.



**Figure 8 Résultat d'analyse de teneur en protéine**

### Conclusion générale :

Ce travail de fin d'études a eu pour objectif d'explorer les voies de valorisation du lactosérum, un coproduit majeur de l'industrie laitière algérienne. La revue bibliographique a d'abord permis de souligner la dualité de ce liquide : bien que massivement traité comme un déchet polluant en raison de sa forte charge organique, le lactosérum constitue une source nutritionnelle de premier ordre, riche en protéines solubles à haute valeur biologique, en lactose, en minéraux et en composés bioactifs. Cette première partie a mis en évidence le potentiel de sa transformation en divers ingrédients, notamment en concentré de protéines de lactosérum (WPC), un produit largement utilisé dans les industries agroalimentaire et nutraceutique.

Face à ce potentiel théorique, l'objectif de la partie expérimentale était d'évaluer la faisabilité technique de produire un WPC à partir de lactosérum doux d'origine locale, en utilisant des moyens de laboratoire accessibles. L'étude a débuté par la caractérisation de la matière première, qui a révélé une bonne qualité physicochimique du lait cru mais une charge microbienne élevée, justifiant la nécessité de traitements thermiques rigoureux. Le lactosérum

obtenu, que ce soit par coagulation enzymatique en laboratoire ou fourni directement par une laiterie, a montré une teneur en protéines très intéressante, supérieure à 2,5 %.

Le protocole de transformation, combinant une filtration grossière, une concentration thermique douce à 55 °C et une lyophilisation, a permis de valider notre hypothèse principale. Nous avons réussi à produire une poudre de WPC stable, de bonne solubilité, et dont l'analyse finale par la méthode de Kjeldahl a révélé une teneur protéique de 32,44 %. Ce résultat est particulièrement significatif car il se rapproche du standard industriel du WPC35, confirmant ainsi qu'une valorisation qualitative est techniquement réalisable à l'échelle du laboratoire sans recourir à des technologies complexes d'ultrafiltration.

En conclusion, ce travail démontre la pertinence scientifique de la valorisation du lactosérum local. Les résultats expérimentaux confirment que ce coproduit, aujourd'hui gaspillé, peut être transformé avec succès en un ingrédient protéique de qualité. Ces conclusions ouvrent des perspectives de recherche importantes, notamment sur l'optimisation des paramètres de concentration, l'étude comparative des méthodes de séchage (lyophilisation vs atomisation) à une échelle pré-industrielle, et le développement de produits dérivés à plus haute pureté comme les isolats (WPI) ou les hydrolysats (WPH) afin d'exploiter pleinement le potentiel de cette ressource nationale.

**Références :**

- Changhui Z., Nan C., Joshua A.T., "Whey proteins and peptides in health-promoting functions – A review", *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2022.
- Dominici, S., Maescotti, F., Sanmartin, C., & Facioni, M. S. (2022). *Lactose: Characteristics, Food and Drug-Related Applications. Journal of Food Science and Technology*. Lactalis Ingredients. (2024, avril 3). *Lactose, a Sugar Unlike Others?* Cahiers de Nutrition et de Diététique.
- FAO. (2013). *Dietary protein quality evaluation in human nutrition: Report of an FAO Expert Consultation*. FAO Food and Nutrition Paper 92.
- ISO 4833-1:2013 Microbiologie de la chaîne alimentaire — Méthode horizontale pour le dénombrement des micro-organismes. Partie 1: Comptage des colonies à 30 °C par la technique d'ensemencement en profondeur.
- ISO 6888-1:2021 Microbiologie de la chaîne alimentaire — Méthode horizontale pour le dénombrement des staphylocoques à coagulase positive (*Staphylococcus aureus* et autres espèces) Partie 1: Méthode utilisant le milieu gélosé de Baird-Parker
- ISO 4832:2006 Microbiologie des aliments — Méthode horizontale pour le dénombrement des coliformes — Méthode par comptage des colonies
- Laplanche J. (2004). Système d'épuration du lactosérum d'alpage par culture fixée sur lit de compost. *Revue suisse Agric*, 36(5): 220-224.
- Mao, X. Y., Cheng, X., Wang, X., & Wu, S. J. (2021) Emerging technologies for the extraction and modification of Whey proteins: A review. *Trends in Food Science & Technology*, **107**, 199–209. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.11.012>
- Moletta R. (2002). Gestion des problèmes environnementaux dans les IAA.
- Morr C.V., Hae Y. (1993). Whey proteine concentrates and isolates: processing and fonctionnal properties. *Critical reviews in food science and nutrition*, 33(6). PP: 431-476.
- Morr, C. V. (1989). Wheyproteins: manufacture. *Developments in dairychemistry*, 4(6), 245-284.

- Muller A., Bernard C., Uzieren D., Georges ( 2003) prepurification of alpha actalbumine with UF ceric membranes from acid casein Whey study operating conditions lait 83 p: 111-129.
- ONIL (Office National Interprofessionnel du Lait). (2021). *Rapport d'activités annuelles : Filière laitière et sous-produits*.
- Pérez, M. D., & Calvo, M. (2021). Whey proteins: Composition, structure, functional properties, and applications. *Dairy*, 2(1), 1–20. <https://doi.org/10.3390/dairy2010001>
- Siso, M. I. G. (1996). The biotechnological utilization of cheese Whey: A review. *Bioresource Technology*, 57(1), 1–11. [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(96\)00036-3](https://doi.org/10.1016/0960-8524(96)00036-3)
- Smithers, G. W. (2008). Whey and Whey proteins—from 'gutter to gold'. *International Dairy Journal*, 18(7), 695–704.
- Sottiez P. 1990- Produits Dérivés Des Fabrications Fromagères In : Lait Et Produits Laitiers ; Vache, Brebis, Chèvre, Ed Lavoisier, Paris, 633p.
- Tang, C., Xi, T., Zheng, J., & Cui, X. (2025). *Chemical Properties of Whey Protein in Protein Powders and Its Impact on Muscle Growth in Athletes*. *Scandinavian Journal of Sports Nutrition*, Article e1934578X251326124
- Violleau V. (1999). Valorisation du lactosérum par électrodialyse. Thèse de doctorat. Montpellier.
- Visser R.A, Nan Den Bos M.J., Ferguson W.P. (1988). Lactose and its chemical derivatives, bults of I.D.F, N°233, PP: 33-44
- Vrignaud Y. (1983). Valorisations du lactosérum, une longue histoire. Revue laitière françaises N°422, PP : 41-46.
- Yadav JS, Yan S, Pilli S, Kumar L, Tyagi RD, & Surampalli RY. (2015). Cheese Whey: A potential resource to transform into bioprotein, functional/nutritional proteins and bioactive peptides. *Biotechnology advances*, 33(6): 756-774.

**Etude économique**  
**Approche économique et stratégique du projet**  
*FutureWhey*

## Chapitre V. Analyse Stratégique du Marché

### V.1. Marché potentiel et marché cible

#### V.1.1. Marché potentiel

Le marché potentiel du concentré de protéines de lactosérum (WPC) en Algérie et dans la région MENA (Moyen-Orient et Afrique du Nord) s'inscrit dans une dynamique de croissance portée par trois grands facteurs :

- La recherche croissante d'ingrédients protéiques de qualité,
- L'essor du marché de la nutrition sportive et médicale,
- Les politiques de substitution aux importations dans les industries agroalimentaires locales.

Actuellement, l'Algérie importe la quasi-totalité de ses ingrédients protéiques laitiers (WPC, WPI), en particulier d'Europe (France, Pologne, Pays-Bas) et de Nouvelle-Zélande. Le déficit structurel en produits à base de Whey est donc considérable.

Le projet *FutureWhey* vise à capter une partie de cette demande, en substituant un produit local, compétitif et de qualité, à des alternatives importées onéreuses et peu traçables. Par ailleurs, les industriels de la transformation laitière, les fabricants de biscuits, de produits laitiers enrichis, et les entreprises pharmaceutiques représentent un réservoir stratégique de clients B2B.

#### V.1.2. Marché cible et justification du choix

*FutureWhey* cible en priorité les industries agroalimentaires nationales (laiteries, fabricants de biscuits, yaourts enrichis), les laboratoires pharmaceutiques/nutraceutiques, et les distributeurs de compléments alimentaires, segments stables et contractuant. Ce choix stratégique repose sur :

1. **L'absence de production locale de WPC** en Algérie, réduisant les barrières à l'entrée.
2. **Une demande captive** : ces clients utilisent déjà des WPC importés (80 000 tonnes/an), avec des coûts élevés et une traçabilité limitée.
3. **Un avantage prix** grâce à la valorisation du lactosérum, coproduit laitier aujourd'hui sous-utilisé.

4. **Un alignement avec les politiques publiques** de substitution aux importations et de Valorisation des déchets agroalimentaires.

Une stratégie de contractualisation progressive (test produits, ajustement formulations, négociation d'accords pluriannuels) est envisagée afin de sécuriser la demande dès les premières phases de montée en échelle.

Les clients potentiels les produits visés et sont rapportées dans le tableau 12 et les figures 8, 9,10 et 11.

**Tableau 12 : Segmentation des clients potentiels**

Segment	Type de clients	Usage du WPC	Avantages recherchés	Fréquence d'achat estimée	Potentiel de contractualisation
<b>Industrie agroalimentaire</b>	BIMO, BIFA, PALMARY, autres biscuiteries	Amélioration nutritionnelle, structure texturante	Origine locale, prix bas, stabilité fonctionnelle	Mensuelle à trimestrielle	Élevé (formules stables)
<b>Nutrition sportive et santé</b>	Distributeurs de compléments alimentaires, marques locales	Formulation de Whey concentrée en poudre	Protéine native, soluble, traçable, locale	Mensuelle	Très élevé (croissance du marché)
<b>Industrie pharmaceutique et cosmétique</b>	Laboratoires Venus, Nedjma, etc.	Produits dermatologiques, crèmes enrichies, maquillage	Faible lactose, texture, propriétés filmogènes	Trimestrielle	Moyen à élevé (formulation sous cahier des charges)
<b>Ministère de la Défense nationale (MDN)</b>	Fournisseurs de rations militaires	Source de protéines dans les repas lyophilisés	Local, sécurisé, durable, stable	Trimestrielle / annuelle (marchés publics)	Élevé (si référencement obtenu)
<b>Fabricants de lait infantile</b>	Lactalis, autres marques	Enrichissement en protéines laitières	Haute digestibilité, qualité microbiologique	Continue (production industrielle)	Moyen (procédure réglementaire stricte)
<b>Aliments pour bétail / nutrition animale</b>	Coopératives agricoles, fabricants locaux	Protéine pour croissance et récupération	Alternative aux tourteaux de soja / maïs, économique	Variable	Faible à modéré (valeur ajoutée moindre)



Figure 10 Aliment pour veaux



Figure 9 Rations militaires



Figure 12 Biscuits et confiseries



Figure 11 Laits pour bébés

## V.2. Mesure de l'intensité concurrentielle

### V.2.1. Concurrents directs et indirects

Le projet *FutureWhey* évolue dans un écosystème où les concurrents directs nationaux sont inexistants, du fait de l'absence d'unités locales produisant du concentré de protéines de lactosérum (WPC) à usage humain à échelle industrielle ou semi-industrielle. Cela crée une opportunité unique de **“first mover advantage”** en Algérie.

En revanche, des concurrents indirects existent et sont dominés par des produits importés, principalement de :

- France (Lactalis, Volac)
- Pays-Bas (Friesland Campina)
- Nouvelle-Zélande (Fonterra)
- Chine (produits bas de gamme, souvent WPC 35 en vrac)



Ces produits sont présents sur le marché algérien via :

- Les distributeurs de compléments alimentaires (nutrition sportive),
- Les importateurs d'ingrédients pour les industries agroalimentaires,
- Les formulations utilisées en nutrition infantile/pharmaceutique.

Dans la plupart des cas, ces produits souffrent d'un manque de transparence sur la qualité, la fraîcheur, les conditions de production et la traçabilité.

Le seul concurrent potentiel à moyen terme pourrait émerger d'une laiterie privée intégrée développant sa propre chaîne de valorisation du lactosérum. Cependant, cela supposerait des investissements techniques et organisationnels lourds et peu compatibles avec les modèles de production actuels.

### **V.2.2. Analyse des parts de marché**

Le marché algérien du WPC est entièrement dominé par l'importation. Sur la base des données disponibles sur les flux d'importation de compléments alimentaires et ingrédients fonctionnels :

- Volume annuel estimé de WPC importé (WPC 35–80) : 64 000 tonnes
- Valeur estimée : 180.6 millions USD/an

Le projet *FutureWhey*, dans sa phase initiale (capacité de traitement de 20 000L de lactosérum/jour), permettrait de capter environ 1 à 3% du marché national dès les 2 premières années.

Objectif stratégique : atteindre 10% de parts de marché d'ici N+5, en déployant un modèle modulaire sur 2 ou 3 régions laitières stratégiques.

### **V.2.3. Forces et faiblesses des concurrents**

Les forces et faiblesses des concurrents figurent dans le tableau 13. Le Positionnement stratégique de *FutureWhey* sur la chaîne de valeur est répertorié dans le tableau 14.

**Tableau 13 : Forces et faiblesses des concurrents**

Concurrents	Forces	Faiblesses
<b>Marques européennes (Volac, Arla, Lactalis)</b>	Normes strictes, qualité homogène, réputation internationale	Prix très élevés, délais longs, empreinte carbone, dépendance à l'import
<b>Marques chinoises</b>	Prix compétitifs, approvisionnement en vrac	Faible qualité, manque de traçabilité, réputation fragile
<b>Whey vendue en nutrition sportive (importée)</b>	Présence sur tout le territoire, diversité des marques	Manque d'adaptation aux besoins industriels B2B, coût de reconditionnement
<b>Substituts végétaux (isolats de pois, soja)</b>	Perçus comme "healthy", productions locales émergentes	Moins performants (valeur biologique inférieure), goût, solubilité

**Tableau 14 : Positionnement stratégique de *FutureWhey* sur la chaîne de valeur**

Critère	Produits importés	Substituts végétaux	<i>FutureWhey</i>
<b>Teneur protéique</b>	Élevée (80–90 %)	Variable (60–80 %)	Moyenne (WPC35–45 %)
<b>Origine</b>	Importée	Locale	Locale
<b>Traçabilité</b>	Limitée	Moyenne	Totale
<b>Empreinte carbone</b>	Forte	Moyenne	Faible
<b>Prix moyen/kg</b>	390 DA	420 DA	250 DA]

### V.3. Stratégie marketing

La stratégie marketing de *FutureWhey* repose sur une approche ciblée, différenciante et évolutive, construite autour des contraintes spécifiques du marché algérien et des besoins des industriels clients. L'objectif est de positionner le WPC algérien comme une alternative fiable, compétitive et durable aux importations, en misant sur la qualité, la traçabilité et l'intégration dans l'économie circulaire.

#### V.3.1. Objectifs Marketing

- Court terme (N–N+1) :

- Établir la notoriété de la marque *FutureWhey* auprès d'un noyau de clients B2B préqualifiés.
- Distribuer des échantillons techniques à des industriels cibles pour validation de formulation.
- Finaliser un premier lot de contrats d'approvisionnement récurrents.
- **Moyen terme (N+2 à N+5) :**
  - Atteindre une pénétration de marché de **5 à 15%** dans les segments laitiers et nutritionnels.
  - Diversifier la gamme avec des WPC de différentes concentrations, voire développer du WPH (hydrolysé).
  - Accroître la visibilité à l'échelle régionale.

### V.3.2. Stratégie de positionnement

Le positionnement choisi repose sur 4 piliers du tableau 15 :

**Tableau 15 : Piliers de la stratégie du positionnement**

<b>Piliers</b>	<b>Positionnement stratégique</b>
<b>Origine locale</b>	WPC 100 % algérien, valorisation de sous-produits laitiers inutilisés
<b>Prix compétitif</b>	Alternative abordable face aux produits importés, sans compromis sur la qualité
<b>Traçabilité et qualité</b>	Filière courte, contrôle microbiologique, transparence sur l'origine
<b>Responsabilité environnementale</b>	Démarche éco-industrielle, réduction des rejets polluants

Slogan suggéré (pour supports B2B) :

**"FutureWhey – La protéine qui valorise notre territoire"**

### V.3.3. Politique de marketing-mix (4P) :

La politique du marketing adoptée repose sur le système des 4P (produit, prix, place et promotion (tableau 16), les objectifs selon la méthode SMART dans le tableau 16.

**Tableau 16 : Politique de marketing**

Variable	Stratégie <i>FutureWhey</i>
<b>Produit (Product)</b>	WPC 35–40 en poudre, excellente solubilité, traçabilité complète, possibilité de personnalisation (packaging, étiquetage client)
<b>Prix (Price)</b>	Tarification par kg selon concentration, en moyenne <b>35 % moins chère</b> que les produits importés ; possibilité de remises par volume ou contrats à long terme
<b>Distribution (Place)</b>	Vente directe via l'équipe commerciale à des industriels, accords logistiques avec transporteurs alimentaires, échantillonnage initial gratuit pour validation
<b>Communication (Promotion)</b>	Marketing de contenu ciblé (fiche produit, dossier technique), participation à des salons agroalimentaires, campagnes LinkedIn & B2B, visites clients, conférences techniques

#### V.3.4. Stratégie de croissance

Le développement marketing suivra une logique progressive et maîtrisée selon la matrice d'Ansoff :

- Pénétration de marché : Renforcement de la présence auprès des clients actuels.
- Développement de marché : Extension géographique vers les régions laitières du Sud
- Développement de produit : Introduction de WPC à teneur plus élevée (WPC60), puis WPH.
- Diversification : Étude de valorisation du lactose ou des minéraux du lactosérum.

**Tableau 17 : Objectifs marketing selon la méthode SMART**

Objectif	Spécifique	Mesurable	Atteignable	Réaliste	Temporel
<b>Signer 3 contrats de vente récurrents</b>	Oui	3 contrats	Oui	Oui	D'ici N+1
<b>Augmenter la notoriété auprès de 5 industriels clés</b>	Oui	Via enquêtes ciblées	Oui	Oui	N+1

## Chapitre VI. Processus de Production

### VI.1. Processus de Production

Le processus de production du concentré de protéines de lactosérum (WPC) développé dans le cadre du projet *FutureWhey* repose sur une approche modulaire, reproductible et adaptée aux réalités techniques et économiques locales. Il s'agit d'un procédé semi-industriel (figure 12) fondé sur des techniques éprouvées (filtration, concentration thermique, séchage par atomisation) garantissant à la fois la qualité microbiologique et la stabilité fonctionnelle du produit fini.

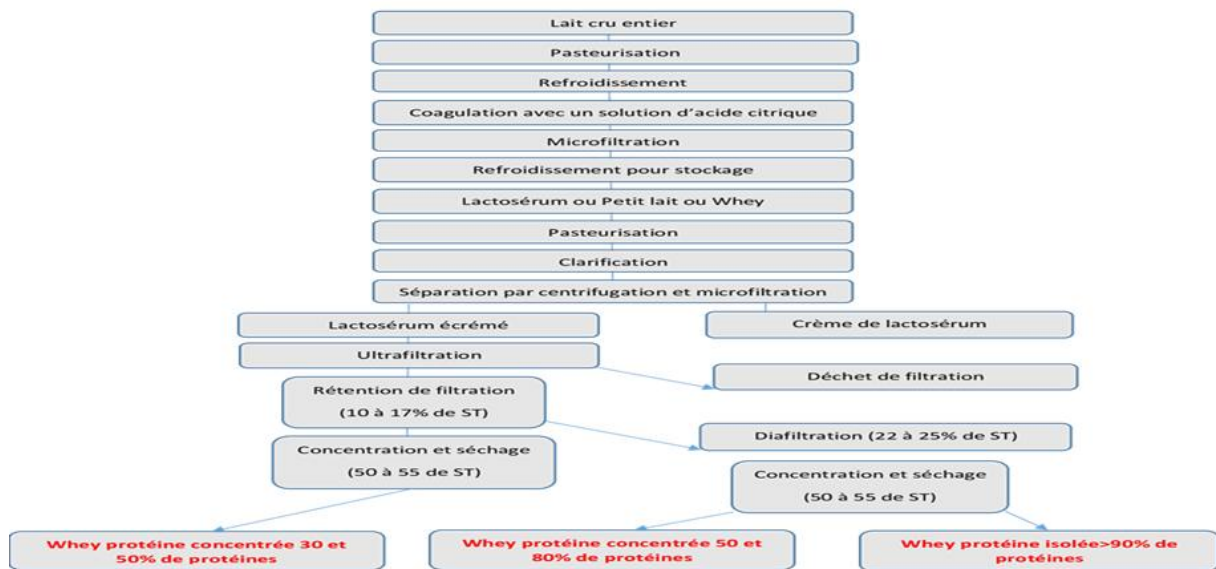
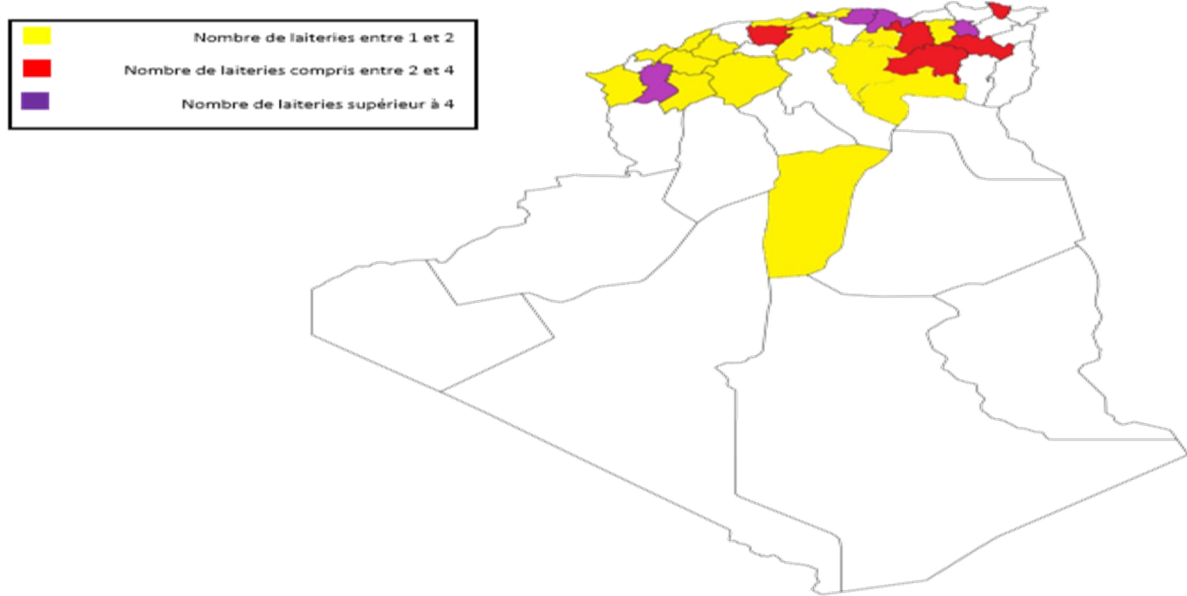


Figure 13 étapes principales du processus de fabrication

### VI.2. Approvisionnement

La réussite industrielle du projet *FutureWhey* repose sur une stratégie d'approvisionnement optimisée, fiable et économiquement viable (figure 13). Cette stratégie concerne à la fois les matières premières (lactosérum), les matériaux et consommables techniques, et les équipements nécessaires à la production. L'ensemble du processus d'achat est pensé pour minimiser les coûts tout en garantissant la qualité sanitaire et technologique du produit fini.



**Figure 14 Ciblage géographique des bassins laitiers pour l'approvisionnement en lactosérum**

#### **VI.2.1. Politique d'achat**

La politique d'achat repose sur les principes suivants :

- **Approvisionnement local priorisé** pour les matières premières (lactosérum issu de la filière laitière nationale à un prix attractif entre 5 et 10DA le litre).
- **Centralisation des achats techniques** (filtres, contenants, réactifs, étiquettes) sur une base trimestrielle afin de bénéficier d'économies d'échelle.
- **Gestion prévisionnelle des stocks** pour éviter les interruptions de production, en particulier en période chaude (risque de perte du lactosérum brut).
- **Contrôle qualité systématique à réception** (protocole simplifié basé sur pH, température, densité et charge microbienne).

#### **VI.2.2. Fournisseurs stratégiques**

Les fournisseurs stratégiques sont répertoriés dans le tableau 18.

**Tableau 18 : Fournisseurs stratégiques**

Type de ressource	Fournisseur envisagé	Critères de sélection
<b>Lactosérum doux</b>	Laiteries partenaires	Volumes réguliers, proximité géographique, stabilité des procédés
<b>Filtres techniques</b>	Fournisseurs locaux / importateurs	Compatibilité alimentaire, finesse (20 µm), coût
<b>Équipements</b>	Fournisseur A (Chine), Fournisseur B (Tetra Pak)	Prix, SAV, performance, adaptabilité au lait
<b>Emballages</b>	Fabricants locaux	Normes alimentaires, résistance, personnalisation
<b>Réactifs labo / consommables</b>	Fournisseurs scientifiques	Certification ISO, délais courts

### **VI.2.3. Politique de paiement et logistique**

- Paiements négociés à 30 ou 60 jours pour les achats en volume (hors équipements).
- Préfinancement initial par apport personnel et aides à l'innovation (ANVREDET, ANGEM)
- Pour les équipements lourds : possibilité de leasing ou partenariat public/privé.
- Transport du lactosérum brut assuré par des camions isothermes sous contrat externe (ou investissement propre à N+3).

### **VI.3. Main-d'œuvre**

Le projet *FutureWhey* s'inscrit dans une dynamique de développement industriel à forte intensité technique, mais à organisation allégée. Le dimensionnement de la main-d'œuvre est pensé pour garantir la maîtrise complète de la chaîne de production tout en optimisant les coûts salariaux et la flexibilité opérationnelle.

#### **VI.3.1. Nombre de postes créés**

En phase de démarrage (N à N+1), le projet nécessitera la mobilisation de 7 postes à temps plein, répartis entre production, logistique, R&D et gestion commerciale. À mesure de l'augmentation des volumes, une montée en puissance progressive est envisagée (jusqu'à 20 en N+5) (Tableau 19).

**Tableau 19 : postes créés.**

<b>Fonction</b>	<b>Nombre de postes (N)</b>	<b>Nombre (N+3)</b>	<b>Mission principale</b>
<b>Technicien de production</b>	2	4	Gestion des étapes de filtration, concentration et de séchage
<b>Opérateur logistique</b>	1	2	Collecte du lactosérum, conditionnement, expéditions
<b>Responsable qualité</b>	1	1	Contrôle physicochimique et microbiologique
<b>Technico-commercial</b>	2	4	Prospection clients, négociation contrats
<b>Direction technique et gestion</b>	1	1	Supervision stratégique, finances, gestion RH
<b>Total</b>	<b>7</b>	<b>12</b>	—

### **VI.3.2. Nature des compétences et profils requis**

Le projet repose sur une équipe pluridisciplinaire combinant compétences en :

- Technologie laitière et procédés agroalimentaires.
- Microbiologie alimentaire.
- Commerce B2B et négociation industrielle
- Gestion de projet entrepreneurial.

Une collaboration avec les écoles vétérinaires, instituts technologiques (INATAA, ENSA, ESSAIA) et incubateurs universitaires est prévue pour le recrutement et la montée en compétence continue des équipes.

### **VI.3. 3. Emplacement et organisation**

- Site de production pilote : prévu dans la région de Constantine, à proximité immédiate d'une laiterie partenaire.
- Organisation en équipes tournantes : production par cycle (filtration, concentration, séchage) étalé sur 72 heures.
- Réseau de sous-traitance possible pour certaines opérations logistiques et d'entretien.



#### **VI.3. 4. Possibilité de recours à la manutention**

Pour les opérations simples à faible valeur ajoutée (chargement, nettoyage, étiquetage), le recours à une main-d'œuvre temporaire ou sous-traitée est envisagé (ex : stagiaires, contrats ANEM, autoentrepreneurs). Cela permettra de :

- Réduire les coûts salariaux fixes,
- Renforcer la flexibilité opérationnelle,
- Favoriser l'insertion locale de jeunes sans emploi qualifié.

#### **VI.4. Principaux partenaires**

Le projet *FutureWhey* repose sur un écosystème de partenariats stratégiques qui assurent sa viabilité technique, sa légitimité scientifique, son accès au marché et son accompagnement institutionnel. Ces partenariats sont conçus dans une logique d'intégration locale, de co-développement et de mutualisation des ressources.

##### **VI.4.1. Partenaires techniques et opérationnels**

- **Laiteries et fromageries partenaires :**
  - Rôle : Fourniture continue de lactosérum doux frais.
  - Avantage mutuel : Valorisation d'un sous-produit souvent jeté ou difficilement géré ; réduction de la pollution ; possibilité de revenus secondaires ou de réduction de charges environnementales.
  - Exemples : GIPLAIT, IGILAIT, TASSILI DBK, SKIPLAIT et SOUMMAM.
- **Fournisseurs d'équipements :**
  - Objectif : Acquisition d'étuves, tours de séchage, filtres et stations de prétraitement.
  - Exemples : Fabricants chinois (coût réduit, maintenance adaptable) ; partenaires européens comme Tetra Pak (garanties, automatisation possible).

#### **VI.4.2. Partenaires scientifiques et académiques**

- **École Nationale Supérieure Vétérinaire (ENSV – Alger)**
  - Rôle : Validation des procédés, soutien R&D, encadrement du prototype.
  - Contribution : Accès à des laboratoires, appui scientifique, accompagnement pédagogique.
- **Instituts agroalimentaires (INATAA - Constantine, ENSA - El Harrach, ESSAIA – El Harrach)**
  - Rôle : Collaboration sur l'amélioration des rendements, formulation des produits dérivés (WPH, WPI), analyse des profils nutritionnels.
- **Encadrement universitaire (projet de fin d'études)**
  - Ce projet est porté initialement dans un cadre académique, avec une volonté d'industrialisation à moyen terme selon les standards du mémoire startup (arrêté 1275).

#### **VI.4.3. Partenaires institutionnels**

- **Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique / Ministère de l'Industrie / Ministère de l'Environnement :**
  - Rôle : Aides à l'innovation, labellisation "startup", subventions pour projet écoresponsable.
  - Opportunité : Intégration dans des programmes nationaux de valorisation des coproduits agro-industriels.
- **Incubateurs universitaires ou régionaux :**
  - Objectif : Hébergement du projet en phase initiale, mentorat, accès à des fonds d'amorçage.
- **Banques et établissements de microfinance (BNA, BADR, CPA) :**
  - Rôle : Financement partiel d'équipements ou du BFR, co-financement avec aides publiques.

#### **VI.4.4. Partenaires de distribution et de logistique**

- **Distributeurs d'ingrédients alimentaires :**
  - Pour assurer une couverture nationale et toucher les PME agroalimentaires.
- **Entreprises de transport sous température contrôlée :**
  - Pour la collecte de lactosérum et l'expédition des produits finis.

- **Plateformes e-commerce B2B spécialisées (à partir de N+2) :**
  - Pour des commandes en petite quantité, à destination de laboratoires, boutiques de nutrition ou export ciblé.

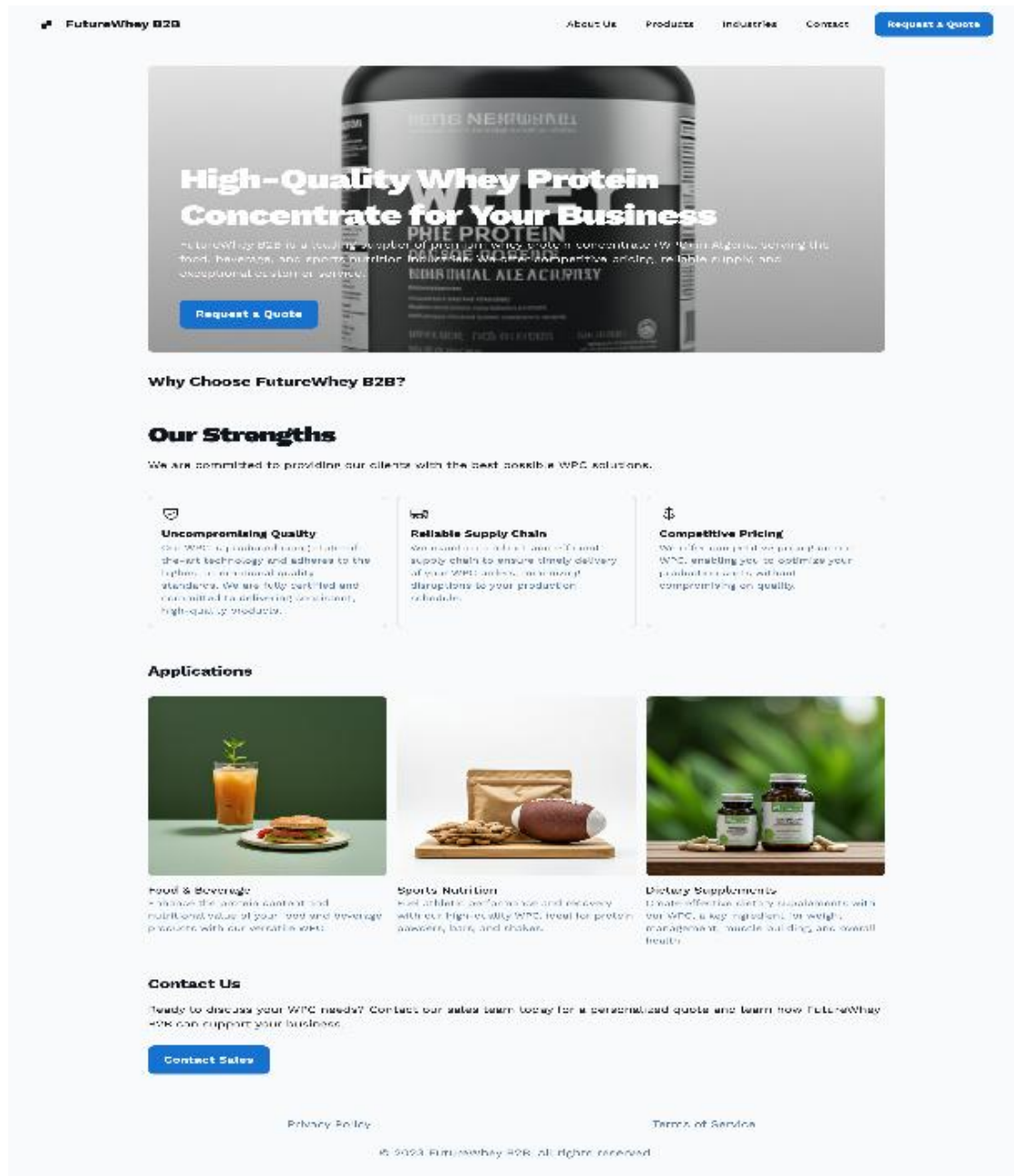


Figure 15 exemple de page web

## Chapitre VII. Coûts et Charges du Projet *FutureWhey*

La structuration financière du projet repose sur une identification rigoureuse des besoins d'investissement initiaux, des charges d'exploitation récurrentes, ainsi que des hypothèses de financement. L'approche retenue vise à favoriser une montée en charge progressive, et maximiser le retour sur investissement dès les premières années.

### VII.1. Coûts d'investissement initial

Les investissements de départ comprennent les équipements de transformation, le matériel de laboratoire, les installations de conditionnement et les frais de mise en conformité (Tableau 20).

**Tableau 20 : Coûts d'investissement initial**

Poste d'investissement	Description	Montant estimé (DA)
<b>Tours de séchage</b>	Séchage en continu, capacité 20 000 L/jour	6 000 000 DA
<b>Système de préconcentration</b>	Filtration, pasteurisation, préchauffage	7 000 000 DA
<b>Cuves et pompes en inox et stockage</b>	Capacité 4 × 5 000 L + pompes alimentaires + silos	8 500 000 DA
<b>Matériel de laboratoire</b>	pH-mètre, balance, microbiologie	1 500 000 DA
<b>Emballage et étiquetage</b>	Sacs aluminisés, systèmes de pesée semi-automatiques	2 000 000 DA
<b>Local et aménagement</b>	Réseaux, ventilation, sécurité HACCP	4 000 000 DA
<b>Total investissement initial</b>		<b>29 000 000 DA</b>

### VII.2. Charges d'exploitation annuelles

Les charges annuelles se répartissent entre les coûts directs de production, les frais de personnel, les dépenses logistiques et les charges commerciales et administratives (Tableau 21).

**Tableau 21 : Charges d'exploitation annuelles**

Type de charge	Description	Montant annuel estimé (DA)
<b>Matière première</b>	Lactosérum collecté (20 000 L/j)	26 500 000 DA/an
<b>Énergie</b>	Atomisation (électricité, gaz), pompes, refroidissement	1 350 000 DA/an
<b>Maintenance</b>	Atomiseur + lignes + pompes	1 000 000 DA/an
<b>Salaires</b>	Équipe de 6 à 8 personnes	6 000 000 DA/an
<b>Transport</b>	Collecte lactosérum + livraison WPC	2 400 000 DA/an
<b>Marketing / vente</b>	Salons, documentation B2B	800 000 DA/an
<b>Total charges annuelles</b>		38 050 000 DA/an

### VII.3. Modes et sources de financement

- Investissement estimé : ~67 050 000 DA
- Apports propres initiaux : 10% → 6 705 000 DA
- Aide ANVREDET : 20% → 13 410 000 DA
- Crédit bancaire (BADR / BNA) : 70% → 46 935 000 DA

### VII.4. Chiffre d'affaires prévisionnel : scénarios optimiste et pessimiste

Le chiffre d'affaires (CA) prévisionnel du projet *FutureWhey* repose sur l'exploitation d'une unité de transformation dotée d'une capacité de 20 000 litres de lactosérum par jour, opérant sur 265 jours ouvrables par an, selon un procédé de séchage par atomisation. Cette section présente les projections de revenus sur 5 ans selon deux scénarios de développement (pessimiste vs optimiste), accompagnés d'une justification par le contexte de marché et les indicateurs macro-économiques (tableau 22).

**Tableau 22 : Paramètres techniques et économiques de base**

Paramètre	Valeur	Source
<b>Capacité de traitement</b>	20 000 L de lactosérum / jour	Prototype FutureWhey
<b>Teneur en protéines moyenne</b>	5,63 % par litre	Résultats expérimentaux
<b>Rendement journalier</b>	≈ 1130 kg de WPC	Calcul technique
<b>Volume annuel (265 jours)</b>	≈ 300 000 kg de WPC	Extrapolation
<b>Prix de vente proposé</b>	<b>250 DA/kg</b>	Politique commerciale FutureWhey
<b>Prix du WPC importé</b>	<b>380 DA/kg</b>	Statista, 2024
<b>Objectif de réduction</b>	-34 % vs import	Stratégie d'entrée

#### VII.4.1. Hypothèses générales

- Produit principal : **WPC 35–40 %**, vendu en vrac ou conditionné selon demande.
- Capacité moyenne de traitement à maturité (N+5) : 20 000 L/jour de lactosérum.
- Rendement moyen de transformation : 6 g de WPC par L de lactosérum.
- Prix moyen de vente :
  - Marché B2B local : 280 DA/kg

- Marché pharmaceutique / nutritionnel (premium) : 300 DA/kg

Les volumes de production tiennent compte des jours ouvrables, des pertes de rendement et des capacités logistiques.

#### VII.4.2. Scénarios de chiffre d'affaires

##### VII.4.2.1. Scénario pessimiste

Hypothèses (Tableau 23) :

- Rythme de croissance plus lent,
- Retards dans la signature de contrats récurrents,
- Capacité de production utilisée à 50–65 % sur 3 premières années.

**Tableau 23 : Scénario pessimiste de chiffre d'affaires**

Année	Capacité exploitée	Volume vendu (kg)	Prix moyen (DA/kg)	Chiffre d'affaires (DA)
N	40 %	120 000	250	30 000 000
N+1	55 %	165 000	250	41 250 000
N+2	65 %	195 000	250	48 750 000
N+3	75 %	225 000	250	56 250 000
N+4	80 %	240 000	250	60 000 000
N+5	85 %	255 000	250	63 750 000

Ce scénario prévoit un seuil de rentabilité à **N+3 ou N+4** si les charges sont maîtrisées.

##### VII.4.2.2. Scénario optimiste

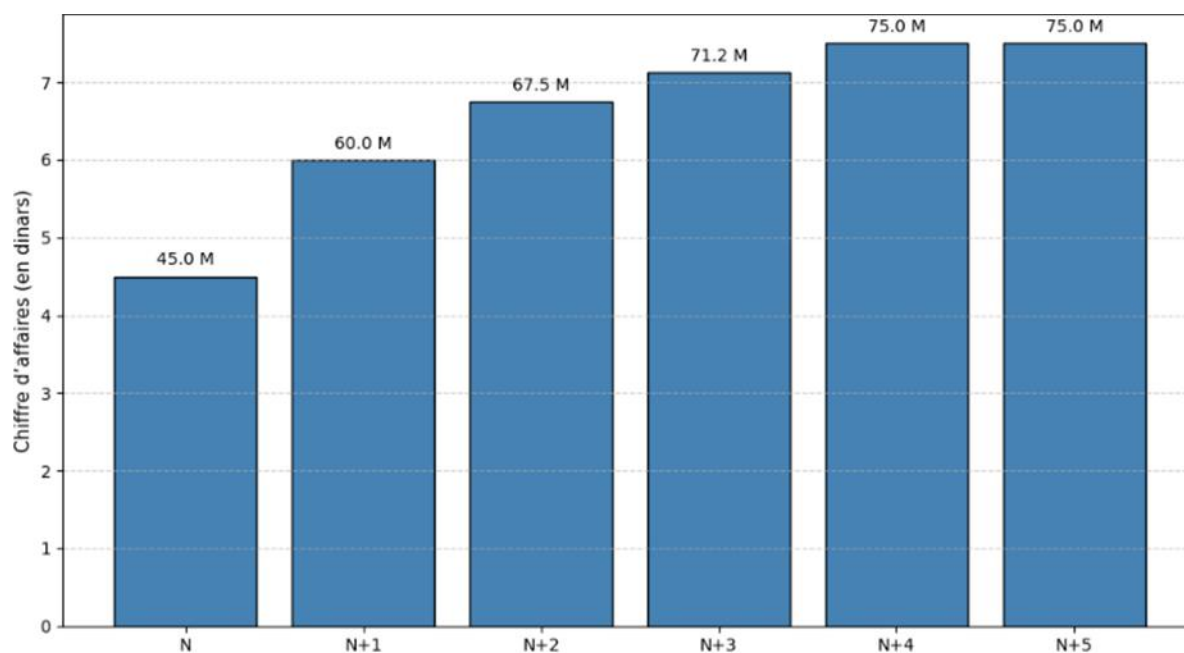
Hypothèses (Tableau 24, figure 15) :

- Intérêt rapide du marché,
- Intégration dans des chaînes industrielles de valeur,
- Capacité exploitée à 85–100 % à partir de N+2.

**Tableau 24 : Scénario optimiste de chiffre d'affaires**

Année	Capacité exploitée	Volume vendu (kg)	Prix moyen (DA/kg)	Chiffre d'affaires (DA)
N	60 %	180 000	250	45 000 000
N+1	80 %	240 000	250	60 000 000
N+2	90 %	270 000	250	67 500 000
N+3	95 %	285 000	250	71 250 000
N+4	100 %	300 000	250	75 000 000
N+5	100 %	300 000	250	75 000 000

Dans ce cas, le projet atteint la rentabilité dès N+2, avec un retour sur investissement complet en N+4, voire N+3 si les marges sont stabilisées.



**Figure 16 Chiffre d'affaire "future whey (N à N+5)**

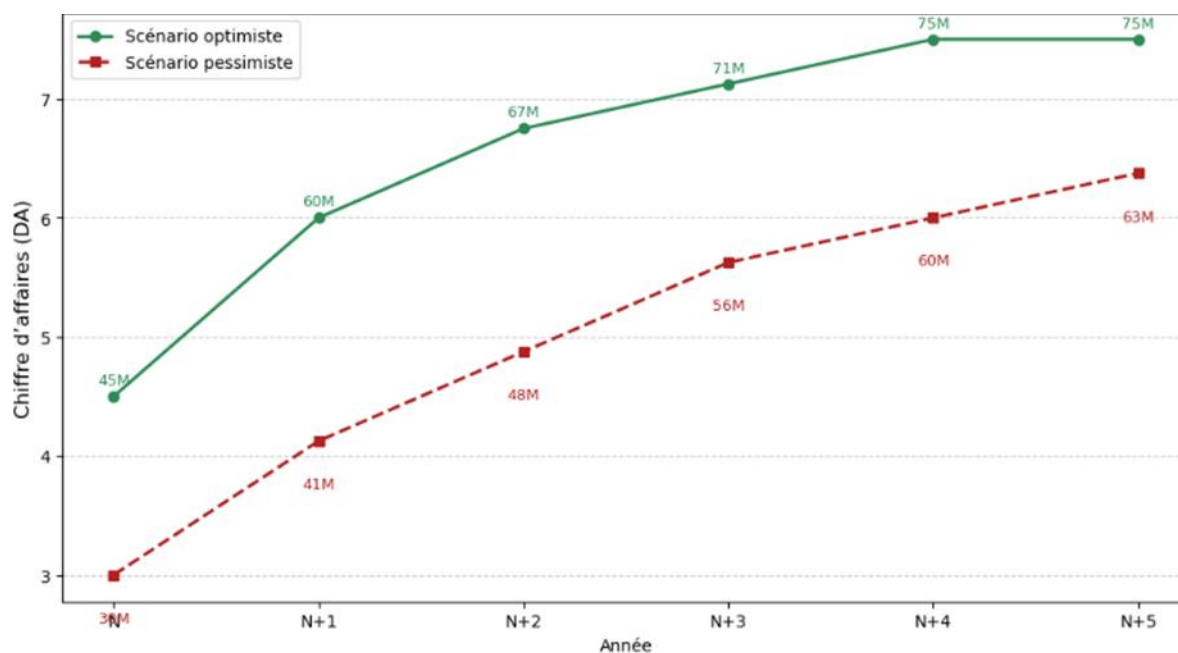
#### VII.4.3. Analyse comparative des scénarios

L'analyse comparative des différents scénarios est notée dans le tableau 25 et figure 17



**Tableau 25 : comparaison des scénarios**

Indicateur	Scénario pessimiste	Scénario optimiste
CA cumulé sur 5 ans	300 000 000 DA	393 750 000 DA
Seuil de rentabilité atteint	N+3/4	N+2
ROI	147 % à N+5	203 % à N+5
Risque de sous-activité	Élevé (marché incertain)	Faible (clients sécurisés)



**Figure 17 Comparatif du chiffre d'affaire annuel : scénario optimiste Vs pessimiste**

## VII.5. Comptes de résultats escomptés

Le compte de résultat prévisionnel de FutureWhey sur 5 ans est établi à partir des hypothèses techniques validées (20 000 L de lactosérum/jour, 1130 kg de WPC/j, prix de vente 250 DA/kg) et d'un plan de charges optimisé. Il permet de dégager des résultats nets réalistes, compatibles avec les standards industriels, et d'évaluer les besoins en trésorerie liés au fonctionnement quotidien de l'unité.

### VII.5.1. Compte de résultat prévisionnel (scénario optimiste).

Les résultats prévisionnels du scénario optimiste sont répertoriés dans le tableau 26 et 27.

**Tableau 26 : résultat prévisionnel (scénario optimiste).**

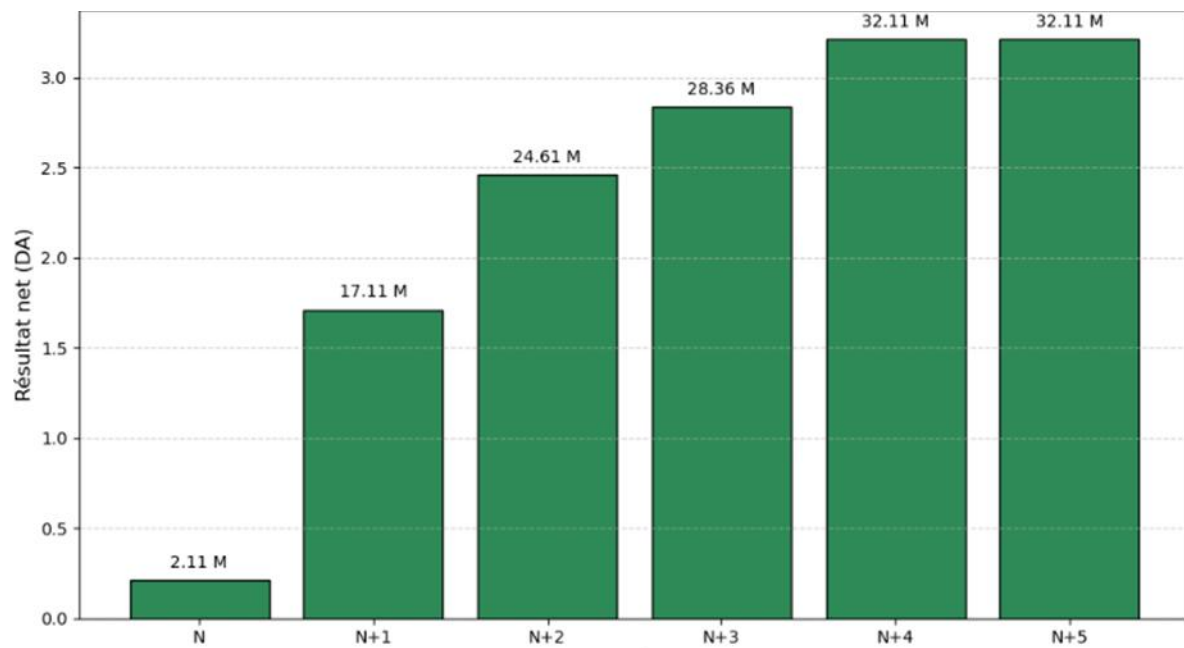
Poste	N	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5
<b>Chiffre d'affaires (DA)</b>	45 000 000	60 000 000	67 500 000	71 250 000	75 000 000	75 000 000
<b>Charges d'exploitation (DA)</b>	38 050 000	38 050 000	38 050 000	38 050 000	38 050 000	38 050 000
<b>Amortissements (DA)</b>	4 840 000	4 840 000	4 840 000	4 840 000	4 840 000	4 840 000
<b>Résultat net annuel (DA)</b>	2 110 000	17 110 000	24 610 000	28 360 000	32 110 000	32 110 000

**Tableau 27: Ratios financiers**

Indicateur	Valeur à N+5
<b>Marge brute</b>	~42.01%
<b>Marge nette</b>	~34.6 %
<b>ROI cumulé à N+5</b>	~203 %

### VII.5.2. Évolution de la rentabilité (figure 18)

- **Point mort / seuil de rentabilité** atteint selon le scénario :
  - **N+2 (optimiste)** : grâce à des contrats d'approvisionnement B2B signés dès la première année.
  - **N+3 (pessimiste)** : si la montée en charge est plus lente.



**Figure 18 Résultat net annuels de Futurewhey (N à N+5)**

## Chapitre VIII. Business Model Canvas

### VIII.1. Business Model Canvas

<b>Partenaires clés</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Partenaires techniques et opérationnels</li> <li>• Partenaires scientifiques et académiques</li> <li>• Partenaires institutionnels et financiers</li> <li>• Partenaires de marché</li> </ul>	<b>Activités Clés</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Production</li> <li>• Développement</li> <li>• Commercialisation et Ventes</li> <li>• Gestion</li> </ul> <b>Ressources clés</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Technologiques et matérielles.</li> <li>• Humaines</li> <li>• Financières</li> <li>• Intellectuelles</li> </ul>	<b>Propositions de va</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Origine locale et traçabilité</li> <li>• Prix compétitif</li> <li>• Qualité et fonctionnalité</li> <li>• Responsabilité environnementale</li> </ul>	<b>Relation Client</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Partenariat et support</li> <li>• Service et communication</li> </ul> <b>Canaux</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Distribution</li> <li>• Communication et Promotion</li> </ul>	<b>Clients</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Industrie agroalimentaire.</li> <li>• Nutrition sportive et santé.</li> <li>• Industrie pharmaceutique et nutraceutique.</li> <li>• Marchés institutionnels.</li> </ul>
<b>Coûts</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Coûts de matière première.</li> <li>• Coûts de production</li> <li>• Coûts de personnel</li> <li>• Coûts de R&amp;D</li> <li>• Coûts marketing et vente</li> <li>• Amortissement des équipement</li> <li>• Coûts administratifs et généraux</li> <li>• Coûts liés à la conformité réglementaire</li> </ul>		<b>Revenus</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vente de concentré de protéines de lactosérum (WPC)</li> <li>• Vente de WPC hydrolysé (WPH) et isolat (WPI)</li> <li>• Contrats de service de traitement du lactosérum</li> <li>• Subventions et aides gouvernementales</li> </ul>		

## **VIII.2. Fiche Technique :**

### **VIII.2.1. Partenaires clés**

Le projet FutureWhey s'appuie sur un réseau de partenaires stratégiques qui contribuent à la sécurisation de l'approvisionnement, de la transformation et de la commercialisation du produit. Les laiteries de l'Est et de la Kabylie (GIPLAIT, IGILAIT, SOUMMAM, TASSILI DBK) constituent les partenaires clés pour l'approvisionnement en lactosérum doux, matière première principale. À cela s'ajoutent des fournisseurs spécialisés en équipements industriels (tours d'atomisation, systèmes de filtration, cuves en inox) qui assurent la capacité technique de production. Sur le plan scientifique et réglementaire, des laboratoires universitaires (INATAA, ENSA, universités locales) accompagnent le projet en matière de formulation, d'analyse et de validation de qualité. Les institutions publiques telles que l'ANVREDET, l'AAPI ou encore des incubateurs universitaires apportent un soutien financier, logistique ou administratif. Enfin, des partenaires financiers (banques, micro-crédit) peuvent intervenir pour soutenir l'investissement initial ou le besoin en fonds de roulement.

### **VIII.2.2. Activités clés**

Les activités principales de FutureWhey couvrent l'ensemble de la chaîne de valeur, de la collecte du lactosérum à la livraison du produit fini. Cela inclut les opérations de transformation : préfiltration, concentration douce, atomisation et conditionnement du WPC (Whey Protein Concentrate). Des activités de contrôle qualité microbiologique et nutritionnel sont également intégrées pour garantir la conformité aux normes d'usage humain, nutritionnel ou pharmaceutique. En parallèle, le projet consacre une part de ses efforts à la prospection commerciale B2B, notamment par des campagnes ciblées auprès des industriels alimentaires, des laboratoires cosmétiques, des distributeurs de compléments alimentaires ou du secteur institutionnel (MDN). La gestion logistique, la participation à des salons professionnels et le développement de produits dérivés (WPH, WPI) complètent cette activité centrale.

### **VIII.2.3. Proposition de valeur**

La proposition de valeur de *FutureWhey* repose sur cinq piliers majeurs. D'abord, l'origine locale et traçable du produit permet de garantir fraîcheur, sécurité et conformité aux standards nutritionnels et sanitaires. Ensuite, l'entreprise propose un prix compétitif, inférieur de 34 %

au produit importé, ce qui favorise la substitution aux importations. Le troisième atout est la qualité fonctionnelle du produit : riche en protéines natives, faible en lactose, hautement soluble et sans additif chimique. Le quatrième avantage est l'impact environnemental positif grâce à la valorisation d'un coproduit (le lactosérum) souvent rejeté ou gaspillé. Enfin, FutureWhey assure à ses clients industriels une régularité d'approvisionnement et une capacité d'adaptation technique selon leurs cahiers des charges.

#### **VIII.2.4. Relations clients**

Les relations clients de *FutureWhey* sont principalement basées sur des relations B2B longues et techniques. Elles s'établissent autour de la contractualisation d'approvisionnements récurrents, le co-développement de formulations spécifiques, ou la validation produit par échantillons. L'équipe commerciale assure un suivi personnalisé, appuyé par un support technique (fiches produits, certificats d'analyse, essais en application). Pour certains segments stratégiques comme la Défense ou les laboratoires, des partenariats peuvent être négociés sur plusieurs années, garantissant stabilité et visibilité aux deux parties. La qualité du service, la fiabilité logistique et la réactivité constituent les piliers de la fidélisation client.

#### **VIII.2.5. Segments clients**

*FutureWhey* s'adresse exclusivement au marché B2B, structuré en six segments principaux. L'industrie agroalimentaire (BIMO, BIFA, PALMARY, etc.) utilise le WPC pour enrichir ses produits (biscuiterie, crèmes lactières, yaourts). Le secteur de la nutrition sportive et santé constitue un débouché important, via des distributeurs et fabricants de compléments protéinés locaux. Les laboratoires pharmaceutiques et cosmétiques (Venus, Nedjma...) utilisent les protéines lactières dans les crèmes, sérums et soins cutanés. Le ministère de la Défense nationale (MDN) représente un segment institutionnel à fort potentiel, notamment pour les rations lyophilisées militaires. Les fabricants de laits infantiles (ex. : Lactalis) constituent une cible haut de gamme, soumise à validation stricte. Enfin, les producteurs d'aliments pour bétail et les coopératives agricoles peuvent utiliser le WPC comme source de protéine dans les formulations animales, bien que ce segment soit moins valorisant.

#### **VIII.2.6. Ressources clés**

Les ressources clés mobilisées par *FutureWhey* sont à la fois matérielles, humaines, financières et technologiques. Les ressources matérielles incluent les équipements de

transformation (tour d'atomisation, cuves, pompes, matériel de laboratoire) et les infrastructures HACCP. Les ressources humaines sont constituées de techniciens agroalimentaires, d'un microbiologiste, d'un responsable qualité et d'un commercial B2B. Les ressources financières proviennent d'un mix entre apport propre, subventions publiques et crédit bancaire ou leasing. Enfin, le savoir-faire technique (procédés, protocoles, formulation) et les données expérimentales du prototype constituent une ressource intellectuelle stratégique difficilement imitable.

#### **VIII.2.7. Canaux**

Le projet prévoit plusieurs canaux de distribution et de communication adaptés au marché B2B. Les canaux de vente incluent la prospection directe par une force commerciale formée, le démarchage ciblé par secteur, ainsi que la participation à des foires et salons spécialisés. La communication passe par la remise d'échantillons, de fiches techniques, la présence sur les réseaux professionnels (LinkedIn, plateformes industrielles) et la diffusion d'articles ou études de cas. La livraison des commandes sera assurée via des partenaires logistiques spécialisés dans la chaîne du froid ou les produits sensibles.

#### **VIII.2.8. Structure de coûts**

La structure de coûts de *FutureWhey* est dominée par les charges fixes industrielles et les coûts variables liés à la production. Les charges fixes comprennent notamment les amortissements des équipements (sur 5 à 7 ans), les salaires de l'équipe, l'assurance, la maintenance, la location du local et les frais de certification. Les coûts variables incluent l'énergie, les consommables, le transport, l'emballage et certains réactifs. L'approvisionnement en matière première (lactosérum) est généralement gratuit ou symbolique, ce qui améliore considérablement les marges. Le projet se caractérise par une bonne marge brute (environ 42%), permettant d'absorber rapidement les coûts fixes et de dégager un résultat net significatif.

#### **VIII.2.9. Sources de revenus**

Les principales sources de revenus de *FutureWhey* proviennent de la vente directe de concentré de protéines de lactosérum (WPC35–40), vendu en vrac ou conditionné. À moyen terme, le développement de produits à plus forte valeur ajoutée (WPC hydrolysé, isolats, mélanges sur-mesure) permettra de diversifier l'offre. Des revenus annexes peuvent

également provenir de prestations de service, comme la valorisation du lactosérum pour le compte de laiteries partenaires. Enfin, des subventions liées à l'innovation, la valorisation des coproduits ou la transition verte sont également intégrées comme flux non récurrents dans la phase d'amorçage.